# БОЛЬШАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ АСТРОНОМИИ

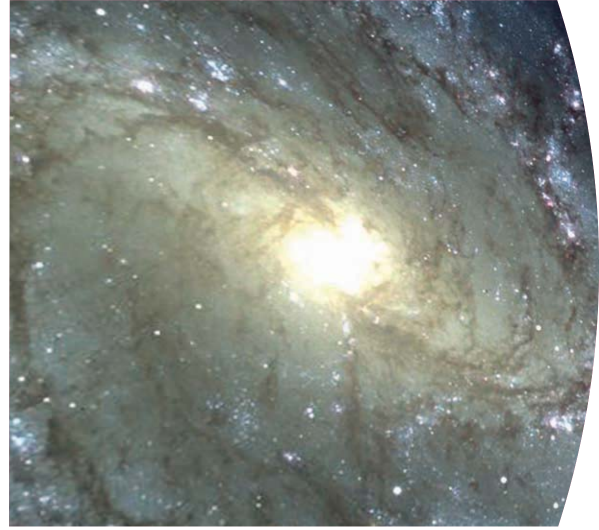


# БОЛЬШАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ АСТРОНОМИИ

МОСКВА
Р О С М Э Н
2012

# СОДЕРЖАНИЕ






## ЧЕЛОВЕК И ВСЕЛЕННАЯ

Наука о Вселенной ..................6
Астрономия Древнего мира .......8
Астрономия Средневековья .... 12
Революция в астрономии ........ 14
Астрономия Нового времени ... 16
Теория относительности
и квантовая теория ............... 18
Четыре «кита» современной
физики ................................ 20
Как исследуют Вселенную? .... 22
Как наблюдают с помощью
телескопа? .......................... 24
Всеволновая астрономия ........ 26
Радиоастрономия .................. 28
Освоение космоса ................. 30
Жизнь во Вселенной............... 34

## ЧТО МОЖНО ВИДЕТЬ НА НЕБЕ?

Звезды и светила ................... 40
Созвездия ............................. 42
Звездное небо разных сезонов 46
Зодиак................................. 54
Небесные координаты ............ 58
Видимое движение Солнца...... 62
Движение и фазы Луны .......... 64
Видимое движение планет....... 66
Солнечные и лунные
затмения............................. 68
Измерение времени ............... 70
Календарь............................ 72
Любительская астрономия ...... 74

## СОЛНЦЕ И СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

Солнечная система ................ 80
Звезда по имени Солнце.......... 82
Солнечная атмосфера ............ 86
«Спокойное Солнце» ............ 88
Солнечно-земные связи .......... 90
Меркурий ........................ 92
Венера ........................... 94
Земля ............................ 96
Луна ............................ 100
Марс............................. 102
Юпитер........................... 104
Сатурн ........................... 106
Уран ............................. 108
Нептун........................... 110
Плутон и другие карликовые планеты........... 112
Малые тела Солнечной системы ....................... 114
Кометы........................... 116
Метеоры ......................... 120
Астероиды ....................... 122
Метеориты....................... 124
Как возникла Солнечная система? ...................... 126

## ЗВЕЗДЫ

Многообразный мир звезд ......................... 130
Расстояния до звезд ........... 132
Какие бывают звезды?.......... 134
Классификация звезд ........... 138
Двойные и кратные звезды.... 140
Планеты у других звезд......... 144
Переменные звезды.............. 146
Странные звезды ................ 150
Как обнаружили странные звезды? ...................... 154
Взрывающиеся звезды.......... 156
Как долго живут звезды? ...... 158
Образование и эволюция звезд ......................... 160
Звездные скопления ............ 162
Межзвездная среда и туманности.................. 164

## МИР ГАЛАКТИК

Галактика — наш звездный дом.......................... 170
Как устроена наша Галактика?...................... 172
Соседи нашей Галактики ....... 176
Какие бывают галактики? ..... 178
Взаимодействующие галактики......................... 180
Галактики-карлики ............. 182
Загадка скрытой массы галактик ....................... 184
Ядра галактик и квазары....... 186
Метагалактика .................. 188
Расширение Вселенной......... 190

Приложение...................... 192
Именной указатель............. 193
Предметный указатель......... 194



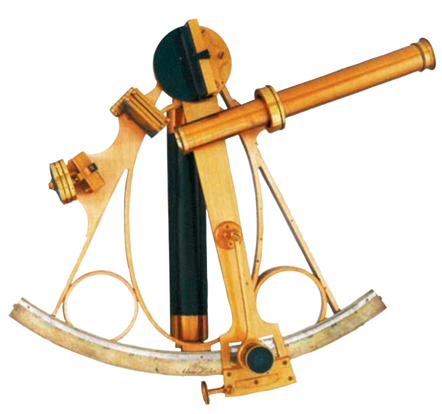


# Человек и Вселенная

Звездное небо и космические дали с древности притягивали взоры людей. В данном разделе вы прочитаете о том, как зародилась и развивалась наука о Вселенной — астрономия. Познакомитесь со знаменитыми астрономами и их открытиями. Узнаете, как работает телескоп, что такое спектральный анализ, фотометрия, радиолокация и т. д. А еще сможете порассуждать о полетах в космос, космических аппаратах, межпланетных станциях. И, наконец, о загадке, волнующей многих: есть ли жизнь за пределами нашей планеты?

# Наука о Вселенной

*Название науки «астрономия» произошло от двух греческих слов: «астрон» — «звезда» и «номос» — «закон». Под звездой в те времена понималось любое небесное светило, поэтому астрономия занималась всем, что можно наблюдать на дневном и ночном ясном небе. Сегодня астрономия — одна из естественных наук физико-математического цикла. Она имеет свой предмет исследования, называемый «Вселенная», и изучает физические процессы, протекающие за пределами земной атмосферы.*



Зеркальный секстант, созданный в XIX в.

## Первые шаги

Во все времена люди стремились понять окружающий мир, узнать, какое место занимают в нем Земля и человек, найти объяснение всему, что происходит вокруг. Глядя на небо, они задумывались о таинственных космических далях и недостижимых мирах. Постепенно накапливались наблюдательные данные об изменениях положения звезд, Солнца, Луны; отмечались и описывались редкие события – затмения, вспышки звезд, появление комет. Ко всему, что происходило на небе, тогда относились как к божественным письменам. По мнению древних людей, уметь читать эти послания и истолковать их значило предсказывать будущее.

Долгое время астрономические знания были привилегией очень узкой группы людей. Тем не менее результаты наблюдений служили всем: по ним определяли наступление сроков сельскохозяйственных работ, составляли календари. По небесным светилам ориентировались на суше и на море те, кто отправлялся в дальние походы.



На древней китайской монете видна фигура ковша, образуемая яркими звездами созвездия Большая Медведица

## Достижения эпох

История астрономии неотделима от истории цивилизации. Было время, когда люди наблюдали небесные тела только невооруженным глазом. Развалины древних обсерваторий (а их строили даже в каменном веке) сохранились в разных странах. Первые астрономические приборы были предназначены для визуального измерения углов между различными направлениями на небе.



Астроном Галилео Галилей первым использовал телескоп для наблюдения планет и других небесных тел

**С помощью современных приемников излучения ученые могут узнавать скорости приближения или удаления тел, оценивать химический состав источников света, плотность и температуру излучающей среды. Прогресс астрономии как науки в ближайшие десятилетия, по-видимому, будет связан с наблюдениями электромагнитного излучения небесных тел, в том числе излучения в оптическом диапазоне (доступном наземным телескопам), а также в инфракрасных лучах, которые слабо поглощаются межзвездной пылью.**

С XVII в. астрономия стала телескопической, это существенно подтолкнуло ее развитие. XVIII и XIX вв. были триумфом небесной механики: астрономы смогли объяснить, почему движение Солнца, Луны и планет происходит так, а не иначе; научились теоретически рассчитывать сложные траектории движения небесных тел и даже открыли новую планету — Нептун. Появившиеся затем более совершенные телескопы позволили обнаружить неизвестные ранее космические объекты, например многочисленные туманности. В конце XIX в. был освоен метод спектрального анализа и возникло новое направление в астрономии — астрофизика.

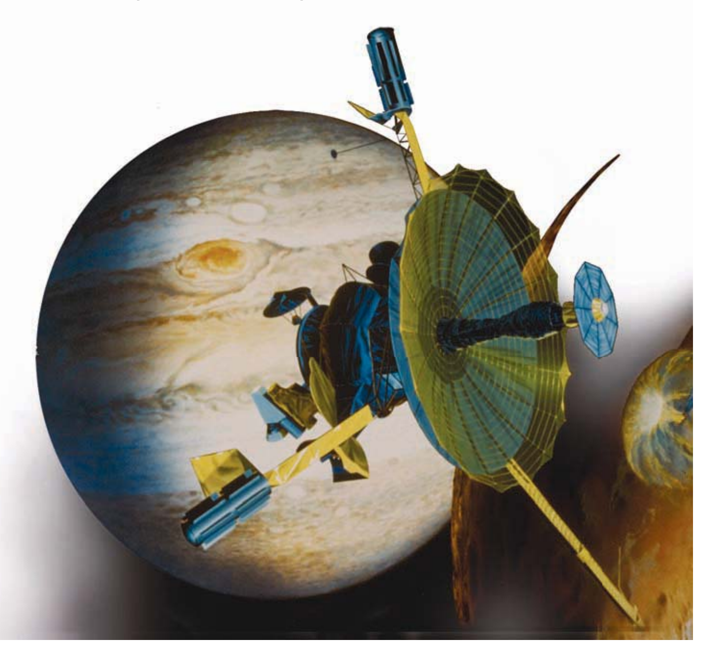
XX век дал возможность, опираясь на развитие теоретической и экспериментальной физики, изучать свойства и природу небесных объектов, удаленных от Земли на очень большие расстояния. Появившаяся космическая техника позволила приблизить научную аппаратуру к другим планетам, сделала доступным исследованию излучение, которое задерживается земной атмосферой. Развитие компьютерных технологий увеличило скорость и качество обработки результатов наблюдений, позволило создавать модели космических объектов и явлений.

## Что такое Вселенная?

Старославянское слово «вселенная» означает место, населенное людьми, «вселёнными» туда Богом. Раньше мир для людей ограничивался сферой неба вокруг Земли. Сейчас границы материального мира, доступного исследованиям, раздвинуты так далеко, что оттуда даже свет идет миллиарды лет. Конечно, ночное небо выглядит сегодня так же, как и тысячи лет назад. Но мы его воспринимаем совсем иначе, чем наши предки. В современном понимании Вселенная — это тот материальный мир, который доступен наблюдениям и теоретическому осмыслению.

Порой кажется, что увидеть Вселенную очень просто — надо только в ясную ночь посмотреть на небо. Но это не совсем так. Над горизонтом можно увидеть лишь не более 3 тыс. звезд, а их только в нашей Галактике триллионы! И таких галактик с помощью больших телескопов можно увидеть огромное количество. Пространство, доступное наблюдениям, постоянно расширяется. Но это все равно не весь мир, существующий вне нас и независимо от нас.

Американская автоматическая межпланетная станция «Галилей» 8 лет (до 2003 г.) работала на орбите Юпитера



# Астрономия Древнего мира

*Наблюдения небесных светил с самых древних времен играли особую роль в жизни людей, помогая им решать важные задачи, например определять сроки сельскохозяйственных работ или ориентироваться в открытом море. Осмысливая результаты наблюдений, люди пытались представить себе устройство мира. Уже древние цивилизации Египта и Месопотамии обладали развитыми системами астрономических знаний, но наибольшего расцвета астрономия достигла в Древней Греции.*



Фараон поклоняется Солнцу. XIV в. до н. э.

## Древний Египет

Цивилизация Древнего Египта возникла около 6 тыс. лет назад на берегах самой протяженной реки Земли — Нила. Египтяне стали одним из первых народов, у которых появились письменность, литература, наука и искусство.

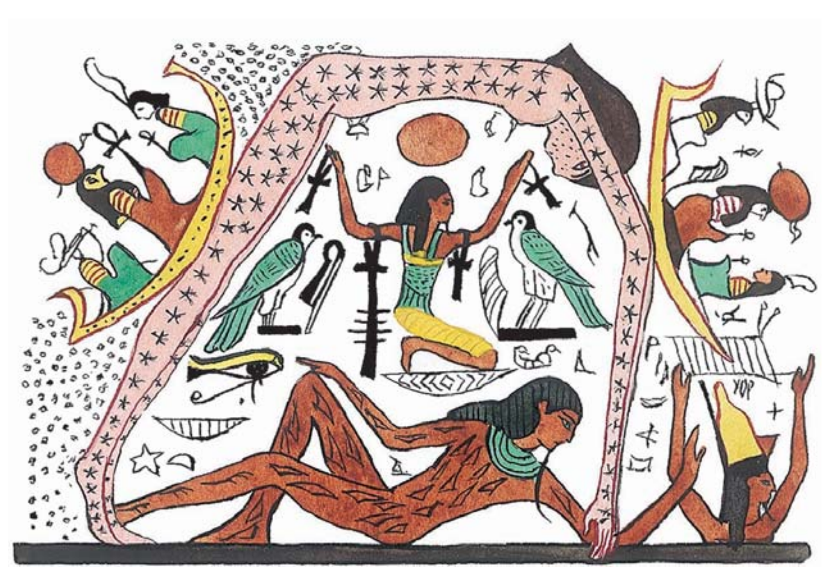
В Египте и сейчас великолепные условия для астрономических наблюдений: днем небо ясное и безоблачное, а ночью усеяно сверкающими звездами. Древнеегипетские жрецы-астрономы объединили звезды в созвездия, получившие имена животных, фигуры которых они напоминали: Бык, Скорпион, Гиппопотам, Крокодил и др. Списки созвездий помещались на саркофагах правителей. Были составлены первые карты звездного неба.

Египтяне изобрели солнечные часы, важнейшим элементом которых служили обелиски, посвященные солнечному богу Ра. Вертикально поставленный столб-обелиск называется гномон. Он отбрасывает тень на циферблат, позволяющий узнать время. Тень от гномона также служит компасом: в полдень она указывает направление на север. На протяжении года полуденная высота Солнца непостоянна, поэтому меняется и длина тени от гномона. По длине полуденной тени можно определить наступление солнцестояний и равноденствий.

Египетский солнечный календарь стал основой для всех дальнейших солнечных календарей. Не случайно римский император Юлий Цезарь для реформы календаря пригласил ученого Созигена из Египта.



Гномон — самые древние солнечные часы



Устройство мира в представлении древних египтян

# Месопотамия

В плодородной Месопотамии в области рек Тигр и Евфрат на протяжении веков сменяли друг друга разные цивилизации: шумерская, аккадская, вавилонская.

Шумеры, а потом и аккадцы еще за тысячи лет до нашей эры изобрели меры длины и веса, использовали солнечные часы, наблюдали планеты и умели делить время на годы, месяцы, недели, дни и часы. Астрономическими обсерваториями служили башни-зиккураты. С них жрецы из года в год вели наблюдения за движением небесных светил, отмечали солнечные затмения.

К концу 2 тыс. до н. э. большинство ярких звезд были объединены в 70 созвездий. Частично рисунок месопотамских созвездий совпадает с рисунком современных — Близнецы, Рак, Лев, Весы, Скорпион и др. В серии клинописных текстов «Муль Апик» («Звезда Плуг») есть список 18 «созвездий на пути Луны» — прообраз зодиака.



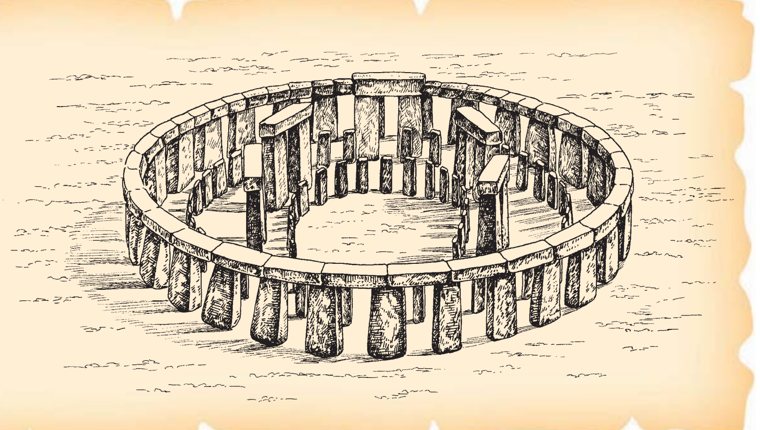
Зиккурат служил для поклонения богам

Глиняная табличка с научными текстами, найденная в библиотеке ассирийского царя Ашшурбанипала

Вавилонские жрецы ввели понятие эклиптики — видимого годичного пути Солнца по небесной сфере. Эклиптика была разделена на 12 равных частей по 30° каждая. Эклиптика служила шкалой для определения положений Солнца, Луны и планет.

В 626—538 гг. до н. э. в Вавилоне правила халдейская династия. Халдейские жрецы создали карты звездного неба и календарь. Они обогатили астрономию замечательным открытием, определив порядок повторения затмений. Затмения возобновляются через 18 лет и 11 дней, этот период получил название «сарос». Жрецы использовали знание о данном цикле для предсказания затмений. Существует вавилонская запись о наблюдении затмения Солнца, которое произошло 15 июня 763 г. до н. э., а также о полном солнечном затмении в Месопотамии 18 мая 602 г. до н. э.

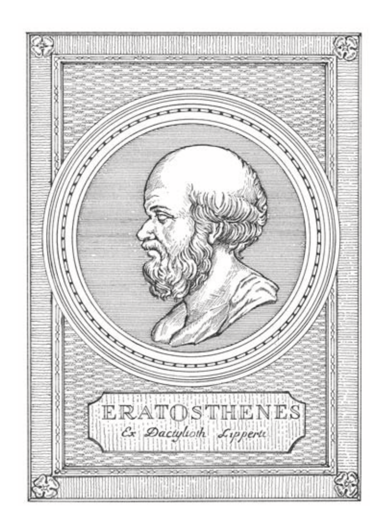
**Всемирно известное грандиозное сооружение каменного века — Стонхендж, расположенный в Англии, в 130 км от Лондона. Ученые считают его грандиозной древней обсерваторией. Планировка камней, валов и лунок комплекса соответствует современным астрономическим, физическим и математическим знаниям.**



## Вселенная Аристотеля

Древняя Греция (Эллада) стала первым великим европейским центром науки и культуры. Греческие астрономы-философы проявляли необычайный интерес к устройству Вселенной, ее возникновению и судьбе. Вселенную они называли «космос».

Крупнейший ученый античности Аристотель (384—322 до н. э.) жил в Афинах. Сочинения Аристотеля охватывают почти все современные ему области знания. Астрономические вопросы изложены в его трудах «О небе» и «Метеорология». Ученый считал, что Луна и другие планеты по форме шарообразны, ибо шар — совершенная фигура, а в космосе должна царить красота. О том, что Земля тоже шар, он судил по ее округлой тени на Луне во время лунного затмения. Аристотель стал основоположником геоцентрической системы мира (от греч. «ге» — «Земля»). Суть его учения заключалась в следующем. Вокруг неподвижной Земли расположены восемь небесных сфер, приводимых в движение «первым двигателем». На семи прозрачных сферах находятся пять планет (Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн), а также Солнце и Луна — каждое светило на своей сфере. Восьмой же сферой, где помещены неподвижные звезды, ограничивается материальный мир.




Из сочинений Эратосфена по астрономии до нас дошло одно — «Катастеризмы», в нем перечислены все известные тогда звезды и созвездия

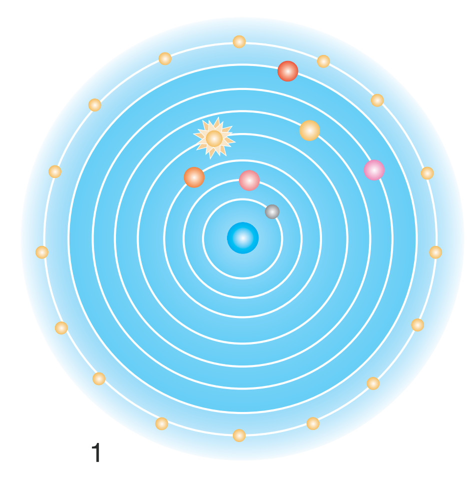
## Александрийские ученые

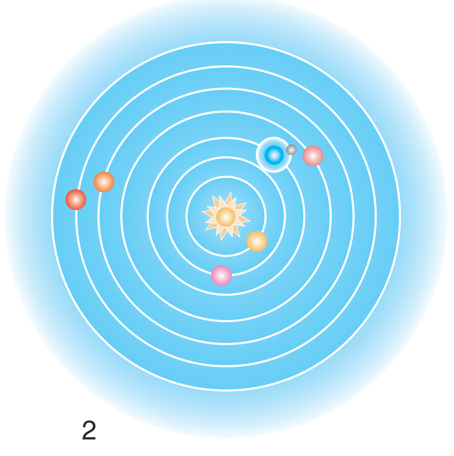
После завоевания в IV в. до н. э. Александром Македонским обширных территорий от Египта до Индии наступил период эллинизма. В это время центром научного мира стал город Александрия в дельте Нила. Здесь возникло удивительное учреждение — Мусейон (храм муз). В нем располагалась знаменитая Александрийская библиотека, в которой было свыше полумиллиона рукописей. Одним из хранителей Александрийской библиотеки был географ Эратосфен (ок. 276—194 до н. э.). Кроме географического описания всего известного тогда мира он первым определил размеры земного шара и был в этом очень близок к истине!

Аристарх Самосский (ок. 310—230 до н. э.) в сочинении «О размерах и расстоя-



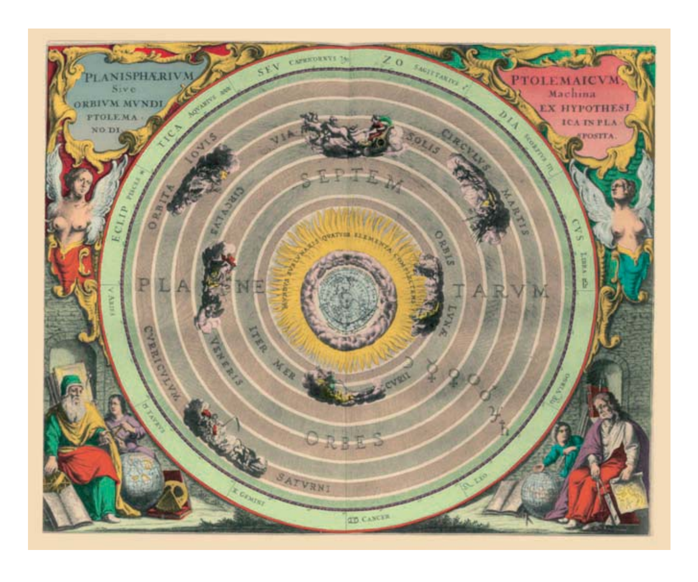
Аристотель — великий мыслитель древности




Схематичное изображение двух разных систем устройства мира: 1 — геоцентрическая; 2 — гелиоцентрическая

ниях Солнца и Луны» сделал вывод, что Солнце по объему в 250 раз больше Земли. Следовательно, не Земля, а именно Солнце должно быть в центре мира, Земля же движется вокруг Солнца. Аристарх предложил первую в истории астрономии гелиоцентрическую (от греч. «гелиос» — «Солнце») модель мира. Эти смелые мысли об устройстве мира не были приняты в те времена.



Система мира по Клавдию Птолемею. Гравюра из атласа А. Целлариуса. XVII в.

## Система Птолемея

Геоцентрическую систему мира усовершенствовал великий астроном Клавдий Птолемей (ок. 90 — ок. 160 н. э.). Большая часть его жизни прошла в Александрии. В течение 15 лет он проводил астрономические наблюдения с помощью созданных им самим угломерных инструментов: астролябии, армиллы, трикветрума и др. Используя эти приборы, Птолемей определил небесные координаты 1022 звезд, дополнив созданный до него каталог звезд Гиппарха.

На основании своих (а также более ранних) наблюдений неба Птолемей построил теорию движения Солнца, Луны и планет. Его главное сочинение по астрономии называется «Великое математическое построение астрономии в тринадцати книгах». Сокращенно по-гречески оно называется «Мегале синтаксис», что значит «Великое построение». Арабский перевод сочинения Птолемея известен под названием «Альмагест».

В основе системы мира Птолемея лежат четыре главных допущения: 1) Земля находится в центре Вселенной; 2) Земля неподвижна; 3) все небесные тела движутся вокруг Земли по кругам; 4) движения небесных тел по кругу происходят с постоянной скоростью, т. е. равномерны. Видимое петлеобразное движение планет Птолемей объяснил с помощью введения комбинации круговых движений. Упрощенно это представляется так. Планеты движутся вокруг Земли равномерно по кругам — эпициклам, центры которых в свою очередь движутся по другим кругам — деферентам. Солнце и Луна перемещаются вокруг Земли по деферентам (без эпициклов). Деференты Солнца и Луны, а также деференты и эпициклы планет лежат внутри сферы, на поверхности которой расположены неподвижные звезды. Система Птолемея позволяла предвычислять положения планет на любую дату.

**Своими трудами прославился древнегреческий астроном Гиппарх (II в. до н. э.). Его каталог звезд, древнейший из сохранившихся до нашего времени, служил многим поколениям ученых. Именно Гиппарх ввел понятие «звездная величина». Самые яркие звезды он назвал звездами 1-й величины, а самые слабые, видимые невооруженным глазом, — звездами 6-й величины.**

# Астрономия Средневековья

*Переход от античности к Средневековью в Европе сопровождался упадком науки и культуры. Уровень грамотности резко снизился, школы были лишь при монастырях, а обучение шло на латинском языке. Астрономию использовали только для вычисления времени Пасхи и других религиозных праздников. Многие результаты научных трудов трактовались как проявление язычества, а ученые подвергались преследованиям. Лишь арабы сохраняли и приумножали достижения астрономов древности.*



Средневековые монахи-астрономы. Миниатюра

## Арабская астрономия

Арабы появились на арене мировой истории в VII в. Завоевав много стран, они столкнулись с более высокой культурой покоренных народов. Однако арабы не разрушили ее, а восприняли и развили. По греческим образцам они делали астрономические угломерные инструменты, проводили измерения, составили новые таблицы (зиджи) для Солнца, Луны и планет, а также новые каталоги звезд.

Выдающимся арабским ученым был Абу Рейхан Мухаммед ибн Ахмед аль-Бируни (973 – ок. 1050) родом из Хорезма. Он написал свыше 150 трудов по астрономии, физике, математике, географии и другим наукам. Для астрономических наблюдений Бируни построил большой стенной угломерный прибор – квадрант с радиусом дуги 7,5 м и с его помощью отмечал координаты звезд и планет с точностью до 2' (угловых минут). Бируни измерил наклон эклиптики к экватору, уточнил величину прецессии, оценил расстояние от Земли до Луны, определил радиус Земли. Полученные им результаты близки к современным значениям.

Арабская астрономия внесла огромный вклад в развитие науки. Отголоски этого периода – арабские астрономические термины: зенит, надир, альмукантарат, альманах и др. Имена звезд – Альдебаран, Альтаир, Бетельгейзе, Ригель, Вега и др. – имеют арабское происхождение.

## Средневековая картина мира

Представления об устройстве мира в эпоху Средневековья были довольно примитивные. Например, «ученый»-монах Козьма Индикоплов в своем сочинении «Христианская топография», вышедшем в 535 г., изобразил слегка выпуклую Землю, напоминающую гору, накрытую прозрачным колпаком. Планеты у него двигались по кругам при помощи ангелов, а Солнце ночью пряталось за высокой горой, стоящей на севере. Авторитет подобных сочинений держался веками.

Со временем (XII–XIII вв.) христианские богословы изменили отношение к «языческой» системе мира Аристотеля и Птолемея. Европейские купцы привозили из стран Ближнего Востока сохранившиеся там древнегреческие рукописи.



Секстантом мерили высоту светил над горизонтом

Арабская астролябия для определения положения звезд



**Правитель Самарканда, внук полководца Тамерлана, Улугбек (1394—1449) покровительствовал ученым, строил медресе (мусульманские школы) в Бухаре, Самарканде, Гиждуване. Самое значительное достижение Улугбека — создание в Самарканде большой обсерватории для определения координат звезд и составления новых планетных таблиц.**



Модель мира с Землей в центре Вселенной

## Ренессанс — заря новой эпохи

Период возврата к наследию античности получил название Ренессанс (от фр. «возрождение»). Возрождение было во всем: науке, философии, литературе, искусстве. Эпоха Ренессанса приходится на XIV—XVI вв. В этот период стала востребованной практическая астрономия: частые и дальние морские путешествия требовали надежных способов ориентирования.

Самым известным в то время был трактат «Сфера Мунди» («Сфера Вселенной») Джона Галифакса (ум. в 1256 г. в Париже), который писал под псевдонимом Иоганн Сакробоско. Это сочинение о небесной сфере и явлениях, происходящих вследствие ее суточного вращения. Книга пользовалась популярностью четыре столетия.

Живший в Вене астроном и математик Георг Пурбах (1423—1461) первым в Западной Европе изложил птолемеевскую теорию эпициклов в своей книге «Новая теория планет». Его учеником был Иоганн Мюллер (1436—1476) из Кёнигсберга. В астрономической литературе, которая издавалась на латыни, он известен как Региомонтан. Эти ученые провели много наблюдений затмений и комет, определили солнечные высоты в разное время года.

После смерти Пурбаха Региомонтан поселился в городе Нюрнберге. Он основал типографию для печатания таблиц, чертежей и календарей к астрономическим книгам. Здесь он издал свой труд «Эфемериды», где привел расчеты положений Солнца, Луны и планет на 32 года вперед (с 1475 по 1506 г.). В «Эфемеридах», кроме того, содержались астрономические сведения. Региомонтан изобрел метод «лунных расстояний» для определения долготы и широты на море, основанный на измерении угловых расстояний между Луной и специально подобранными опорными звездами. Он также построил точные приборы для измерения углов между светилами — трикветрум Региомонтана и посох Якова. Мореплавателям очень пригодились эти инструменты, а также таблицы Региомонтана. Их использовали для определения координат корабля и исчисления пройденного пути.

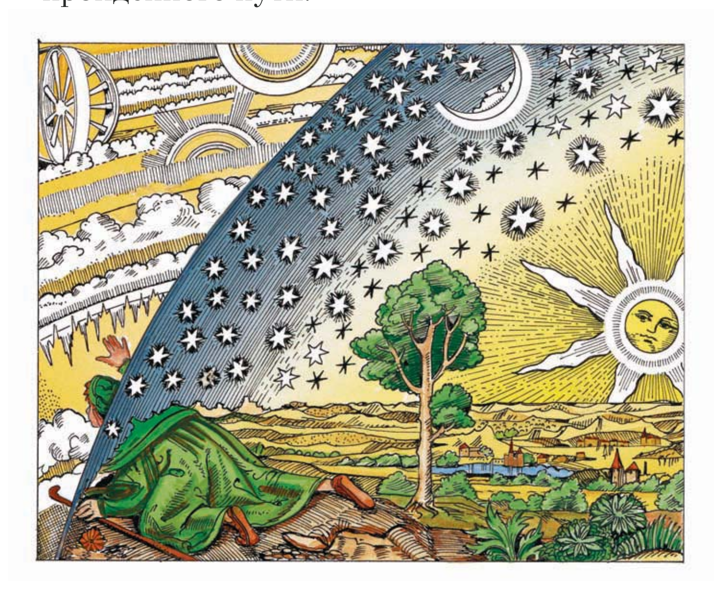


Иллюстрация средневековых представлений: человек заглядывает за край Земли

# Революция в астрономии

*Расцвет культуры и науки в эпоху Возрождения затронул и астрономию. Главным достижением стало революционное преобразование великого польского астронома Н. Коперника, заменившего геоцентрическую модель мира более совершенной гелиоцентрической. Прогресс коснулся как наблюдательной стороны (создание высокоточных инструментов Т. Браге, изобретение телескопа), так и теоретических исследований (открытия Г. Галилея, законы движения планет И. Кеплера).*



Гелиоцентрическая система мира

## Коперник

Ученый и мыслитель Николай Коперник (1473—1543) открыл Землю как планету. На пьедестале его памятника в Варшаве есть слова: «Остановивший Солнце, сдвинувший Землю». Появление учения Коперника стало величайшим событием XVI в.

Система мира, разработанная Коперником, называется гелиоцентрической. Основу ее составляют следующие утверждения: 1) в центре мира находится Солнце, а не Земля; 2) шарообразная Земля и все планеты движутся вокруг Солнца в одном направлении и вращаются вокруг своей оси; 3) пути планет вокруг Солнца круговые; 4) скорости движения планет постоянны, т. е. их движения равномерны, однако, чем ближе орбита к Солнцу, тем больше линейная скорость движения планеты по орбите, и наоборот. Луна движется вокруг Земли и вместе с ней вокруг Солнца.



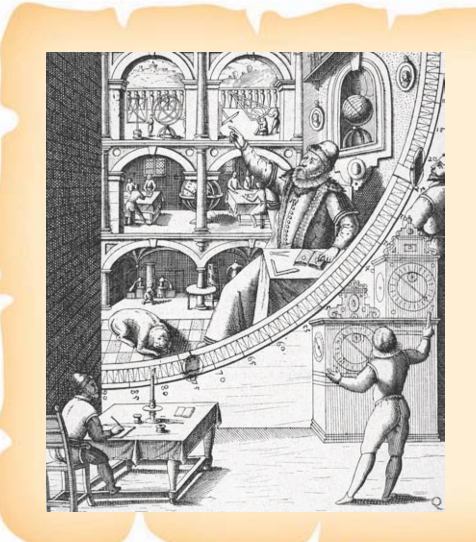
Я. Матейко. «Астроном Коперник, или Разговор с Богом». 1872 г.

Коперник обосновал учение о нашей Земле как об обычной планете. Она является небесным телом, следовательно, никакой принципиальной разницы между земным и небесным не существует. Этим ученый нанес сокрушительный удар средневековой философии. В 1616 г. сочинение Коперника было отмечено в папском «Индексе» книг, не рекомендованных для чтения католикам.

## Галилей

Итальянский ученый Галилео Галилей (1564—1642) был физиком, механиком, астрономом. Проведя множество опытов, он изучил законы падения тел и движения их под углом к горизонту, определил зависимость периода колебания маятника от его длины, выдвинул идею об относительности движения.

В 1609 г. Галилей сконструировал зрительную трубу с двумя стеклянными линзами — плоско-выпуклым объективом и плоско-вогнутым окуляром. Труба давала прямое мнимое изображение предмета с увеличением в три раза. Потом он построил вторую трубу с увеличением в 32 раза и использовал этот инструмент для наблюдения неба. Ученый впервые увидел то, что раньше не было доступно человеческому глазу: что



**Наблюдениями небесных светил прославился датский астроном Тихо Браге (1546—1601). Браге создал такие инструменты, что точность его наблюдений была исключительной. Среди них, например, был квадрант с радиусом дуги 2 м. Наиболее важными для последующего развития науки оказались измерения положения Марса, которые в обсерватории Браге шли непрерывно 16 лет. Эти данные позволили Кеплеру открыть законы движения планет. Браге предложил свою систему мира, по которой планеты движутся вокруг Солнца, но само Солнце с планетами обращаются вокруг Земли.**



Телескопы, созданные Галилео Галилеем, — небольшие свинцовые трубки, обмотанные бумагой и шерстью. Они хранятся во Флорентийском музее в Италии

на Луне есть горы и равнины, что Юпитер имеет четыре спутника, что Млечный Путь состоит из громадного количества звезд, что Венера меняет фазы подобно Луне (такое может быть только при ее движении вокруг Солнца), что на Солнце есть пятна.

Таким образом, Галилей подтвердил правильность учения Коперника. Свои открытия он описал в книге «Звездный вестник». В 1633 г. Галилей был предан суду инквизиции и приговорен к пожизненному тюремному заключению. Ему было обещано смягчение наказания в случае публичного отречения от «коперниканской ереси». Престарелый ученый подписал отречение, оставшись внутренне убежденным в своей научной правоте.

## Кеплер

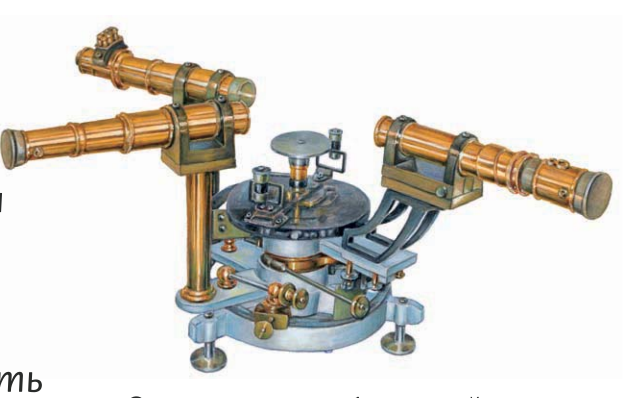
Немецкого астронома Иоганна Кеплера (1571—1630) называют «законодателем неба», он впервые сформулировал законы движения планет. Обработав результаты многолетних наблюдений Марса в обсерватории Тихо Браге, Кеплер убедился, что наилучшим образом они объясняются, если предположить, что Марс движется вокруг Солнца не по окружности, а по эллипсу и что скорость его движения непостоянна. Оказалось, что все другие планеты и Луна движутся подобным образом. Кроме того, более близкие к Солнцу планеты движутся быстрее, а более далекие — медленнее. Так Кеплер сформулировал три закона движения планет.



Ученый Иоганн Кеплер кроме астрономии занимался математикой, оптикой, астрологией

# Астрономия Нового времени

*Развитие астрономии в Новое время в значительной мере определили достижения в областях знания, связанных с физикой. Успехи механики после открытий И. Ньютона и П. С. Лапласа позволили решить сложные задачи движения тел в Солнечной системе, а также обнаружить в ней новые космические объекты. Затем наступила эра астрофизики, когда для изучения устройства Вселенной стали применять физические методы исследования (фотографию, спектральный анализ и т. п.).*



Спектроскоп, изобретенный в XIX в., позволил наблюдать спектры излучения звезд

## Механистическая картина мира

Основоположник современного естествознания — английский физик, астроном и математик Исаак Ньютон (1643—1727). Если Кеплер открыл законы движения планет, то Ньютон установил причину, по которой планеты обращаются вокруг Солнца. Труд Ньютона «Математические начала натуральной философии» был издан в 1687 г. В нем сформулированы три закона механики: закон инерции, закон изменения импульса тела пропорционально приложенной силе и закон равенства действия и противодействия; а также закон всемирного тяготения. В 1668 г. Ньютон изобрел и построил зеркальный телескоп. Для объектива вместо линзы он использовал вогнутое сферическое зеркало.



В 1671 г. Исаак Ньютон создал свой второй зеркальный телескоп, он был еще больших размеров и лучшего качества, чем первый

Небесная механика развивалась в работах французского астронома, математика и физика Пьера Симона Лапласа (1749—1827) и трудах других ученых. Результатом исследований стала возможность по координатам любого небесного тела в три разных момента времени рассчитать его орбиту. Астрономия стала наукой, в которой предвидение основано на знаниях — вычислении взаимодействия небесных тел.

## Звезды раскрывают свои тайны

Немалый интерес представляет история открытия планет. Военный музыкант Вильям Гершель (1738—1822) однажды прочитал книгу «Система оптики» Р. Смита. Он страстно захотел увидеть небесные светила. Денег на телескоп у него не было, тогда он сделал его сам. Впоследствии Гершель стал строить все большие и большие по размерам телескопы. В 1781 г., рассматривая звезды в созвездии Близнецов, Гершель увидел необычную звезду, у которой просматривался диск. Оказалось, что этот объект медленно перемещается среди звезд. Гершель решил, что открыл комету. Через несколько месяцев Андрей Иванович Лексель (1740—1784) в Петербурге и Пьер Симон Лаплас в Париже рассчитали орбиту нового небесного тела. Выяснилось, что это не комета, а планета! Удивительным было то, что она отстояла от

Солнца почти на 3 млрд. км, что расширило границы Солнечной системы почти вдвое. Новой планете дали имя Уран, сохранив мифологический смысл: по расстоянию от Солнца Юпитер, Сатурн и Уран шли в порядке поколений: сын, отец и дед.

После открытия новую планету тщательно наблюдали, вычисляя параметры ее орбиты. Ученых удивило, что результаты вычислений стали давать расхождение с истинным положением Урана на небе. Было высказано мнение, что в Солнечной системе есть еще одна планета, притяжение которой не было учтено. Эта неизвестная планета то ускоряет, то замедляет движение Урана. Ее положение следовало определить. За вычисления взялся французский астроном и математик Урбен Леверье (1811—1877). В 1846 г. он указал место на небе, где нужно искать новую планету. В итоге она была обнаружена в берлинской обсерватории, где составлялись подробнейшие для того времени карты звездного неба. Планету назвали Нептуном, по имени морского бога.



Телескоп Гершеля, с помощью которого он открыл Уран. Гершель предложил назвать новую планету звездой Георга в честь короля Англии Георга III

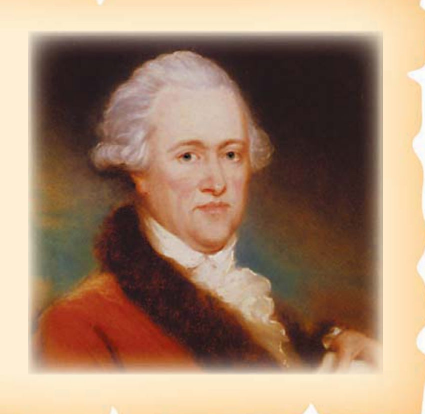


Пулковская обсерватория была построена под Санкт-Петербургом в 1839 г.

История открытия Плутона похожа на историю открытия Нептуна. Однако на этот раз поиски «планеты икс» затянулись до 1930 г.

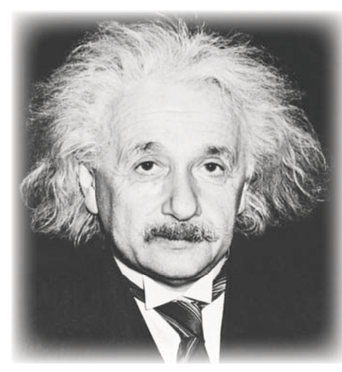
К середине XIX в. астрономы стали применять фотографию. Были созданы специальные фотографические телескопы — астрографы. Первыми астрономами, применившими фотографию, были У. К. Бонд, Г. Дрейер, Л. Розерфорд в США, братья Анри во Франции, У. де ла Рю в Англии. В 1859—1862 гг. в Германии физик Густав Кирхгоф (1824—1887) и химик Роберт Бунзен (1811—1899) разработали метод спектрального анализа. Появилась возможность изучать спектры звезд и получать сведения об их химическом составе, температуре, давлении, вращении, движении по лучу зрения и т. д.

**Изучение мира звезд началось с наблюдения Галилеем Млечного Пути. Он писал: «Млечный Путь есть не что иное, как масса бесчисленных звезд, собранных в скопления». Создателем звездной астрономии называют В. Гершеля. Он занимался звездной статистикой и подсчитывал число звезд, видимых в телескоп на отдельных участках неба. Гершель хотел понять, какую форму и размеры имеет звездная система. Итогом подсчетов стал гигантский звездный диск.**



# Теория относительности и квантовая теория

*В начале XX в. устоявшаяся картина мира претерпела существенные изменения. Оказалось, что пространство и время не существуют независимо друг от друга. Новую революцию в естествознании принято связывать с именем Альберта Эйнштейна (1879—1955). Эйнштейн обобщил теорию тяготения И. Ньютона и сформулировал общую теорию относительности (ОТО). Правильность представлений ОТО о тяготении стала подтверждаться уже вскоре после ее создания.*



А. Эйнштейн — крупнейший физик-теоретик

## Революция Эйнштейна

Согласно общей теории относительности, любая форма материи и ее движение являются источником гравитации, которая трактуется как «искривление» пространства-времени. В основе теории лежат следующие физические законы и принципы: принцип общей относительности (все фундаментальные законы физики всегда одинаковы в любых системах отсчета и должны одинаково действовать везде во Вселенной); принцип постоянства скорости света (в вакууме) в любых системах отсчета; принцип эквивалентности (никакими экспериментами невозможно отличить поведение тел в системе отсчета, движущейся с ускорением, от их нахождения в однородном поле тяжести).

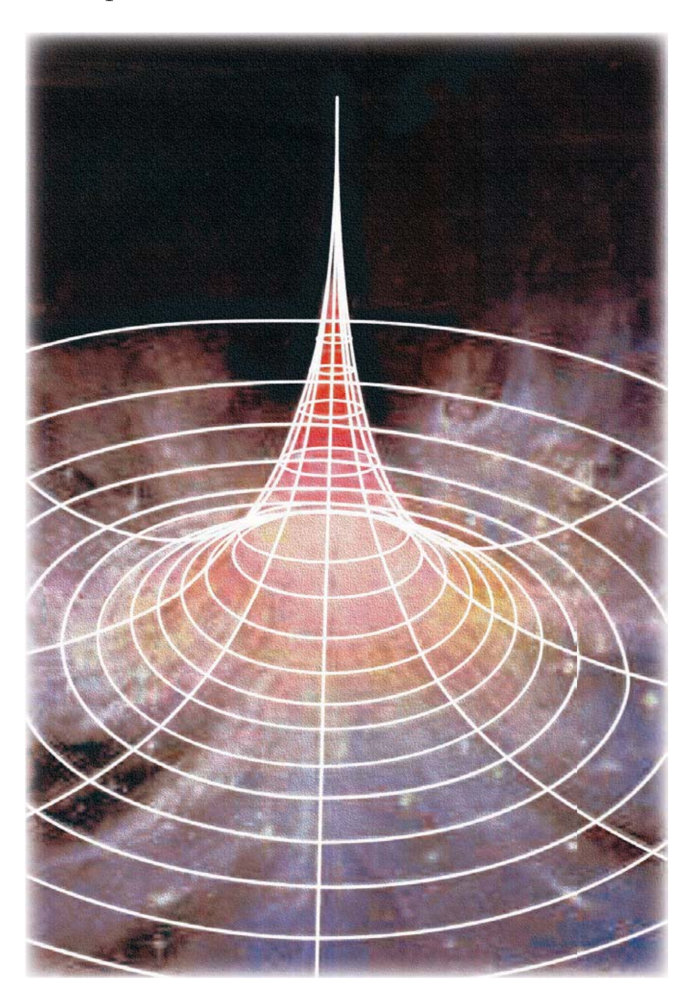
Предсказания теории относительности начали подтверждаться почти сразу же после ее появления. В 1919 г. английский астрофизик Артур Стэнли Эддингтон (1882—1944) наблюдал отклонения лучей света звезд в поле тяготения Солнца, которые можно измерить, только когда свет Солнца не мешает видеть звезды рядом с ним, т. е. во время полного солнечного затмения. Угол отклонения вблизи солнечного диска оказался равным около 2" (угловых секунд).

Схема отклонения луча света от далекой звезды в поле тяготения Солнца

**На основе теории относительности доказано существование гравитационных волн — малых возмущений пространства-времени, распространяющихся со скоростью света. Они столь слабы, что значительную мощность излучения могут создавать лишь космические тела больших (звездных) масс, движущиеся с околосветовыми скоростями. Такие звезды обнаружены среди двойных нейтронных звезд. Из-за того что гравитационные волны уносят энергию, период обращения таких звезд друг вокруг друга должен постоянно уменьшаться.**

## Изменения Вселенной

Теория относительности привела к пересмотру самой картины мира и позволила сделать выводы о том, как развивалась и будет развиваться наша Вселенная. Еще в начале 20-х гг. XX в. выдающийся советский математик и геофизик Александр Александрович Фридман (1888—1925), анализируя уравнения Эйнштейна, показал, что наша Вселенная нестационарна. Это означает, что расстояние между любыми удаленными объектами, не связанными гравитационно (например, удаленными галактиками), должно непрерывно изменяться во времени. Этот революционный вывод вскоре подтвердил американский астроном Эдвин Хаббл (1889—1953) результатами наблюдений красных смещений в спектрах далеких галактик.



Схематическое изображение расширяющейся Вселенной — теории Большого взрыва



Эдвин Пауэлл Хаббл открыл для астрономии мир галактик; он предложил классификацию галактик и метод определения расстояний до них

## Квантовая теория

Исследуя звезды и изучая ранние стадии расширения Вселенной, астрономы столкнулись с необычным состоянием вещества, которое нельзя понять и описать без использования квантовой теории и теории элементарных частиц. Элементарные частицы, такие, как электроны или протоны, сочетают в себе свойства и частиц, и волн.

Это положение впервые было выдвинуто в 1923 г. французским физиком Луи де Бройлем (1892—1987). Согласно этой гипотезе, любому телу можно сопоставить определенную длину волны, длина которой обратно пропорциональна его массе. Окружающий нас макромир «массивен», и длина волны, скажем, кастрюли, настолько мала, что ни мы сами, ни специальные приборы не в состоянии ее зафиксировать. А вот «предметы» микромира — протоны, нейтроны, электроны — уже нельзя рассматривать как обычные тела. Скажем, в некоторых экспериментах свет можно рассматривать как поток частиц, фотонов, а в других — как распространяющуюся электромагнитную волну.

Еще один важный вывод квантовой теории — принцип Паули, согласно которому в одном и том же квантово-механическом состоянии могут находиться не более двух электронов (протонов, нейтронов и других частиц). Именно принцип Паули позволил объяснить свойства белых карликов и нейтронных звезд. При небольших размерах они имеют чудовищную плотность вещества.

# Четыре «кита» современной физики

*Согласно одной из легенд древности, наш мир — это огромное плоское блюдо, которое держат на своей спине четыре кита. По мере развития науки выяснилось, что Земля — лишь одна из планет, а не весь мир; кроме того, она не плоскость, а шар. Мифологическим китам нечего стало держать, но концепция поиска «основ», на которых держится мироздание, никуда не исчезла. Четырех китов древности сегодня заменяет концепция четырех фундаментальных взаимодействий.*



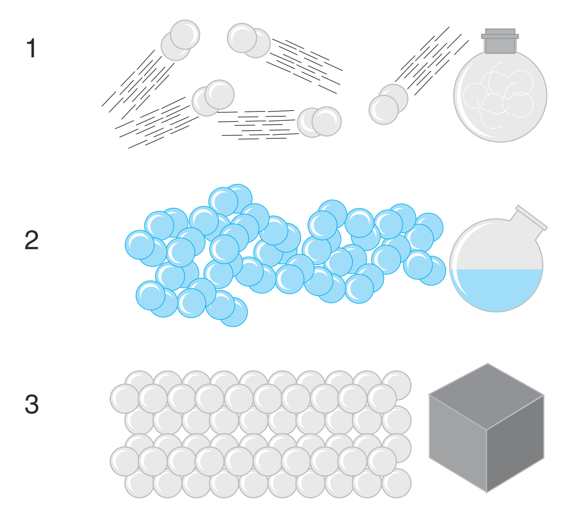
По одной из легенд мир держат на спинах три слона, стоящие на гигантской черепахе

## Вещество и поля

Все, из чего состоит окружающий нас материальный мир, принято разделять на вещество и поля. Вещество — это молекулы, атомы, а также элементарные частицы, которые имеют определенную (не нулевую) массу в состоянии покоя (электроны, протоны, нейтроны и многие другие частицы). Из вещества состоят люди, а также планеты, звезды, галактики, разреженная газовая среда между ними и т. д.

Поля — это особые виды материи. Они не осязаемы, но также способны переносить энергию и взаимодействовать с частицами вещества. При определенных условиях поля могут рождаться этими частицами и в свою очередь рождать их. Примерами полей могут служить электромагнитные поля (электромагнитные колебания), к которым относятся и видимый свет, и рентгеновские лучи, и радиоволны. Почти вся информация об астрономических объектах получена благодаря приему испускаемых ими электромагнитных волн. Особое место в физике и астрономии занимает гравитационное поле: только гравитация (тяготение) присуща всем видам материи, без исключения, — и частицам, и полям.

**В настоящее время предпринимаются попытки создания единой теории фундаментальных взаимодействий, которая позволила бы объяснить их на одной основе. Успехи на этом направлении уже есть. Так, в 1967 г. была создана теория электрослабого взаимодействия, объединившая электромагнетизм и слабые взаимодействия. Сегодня разработаны модели, объединяющие все фундаментальные взаимодействия, за исключением гравитационного. Однако окончательно решить эту проблему предстоит физикам будущего.**




Три фазовых состояния вещества:
1 — газообразное; 2 — жидкое; 3 — твердое

# Типы взаимодействия

Вещество и поля находятся в состоянии непрерывного взаимодействия. Известны четыре типа взаимодействия: гравитационное, электромагнитное, слабое и сильное.

Гравитационное взаимодействие универсально. Оно существует между любыми формами материи — частицами и полями и не требует наличия каких-либо специфических свойств. Природу гравитации раскрывает общая теория относительности: гравитация — это искривление пространства-времени. Массивные тела (например, звезды) можно сравнить с шарами, лежащими на биллиардном столе. Сукно под их тяжестью немного прогибается, и каждый из них лежит в образованной им ямке, в которую скатывается всякая «мелочь», скажем, кометы или астероиды. Благодаря силе тяжести брошенный камень падает на землю, а все тела на ее поверхности имеют вес. Силы гравитации относятся к дальнодействующим. Это значит, что они могут ощущаться на любом расстоянии от массивного тела.

Электромагнитное взаимодействие — это силы, с которыми действуют друг на друга электрически заряженные частицы. Силами электромагнитного взаимодействия объясняется, например, сила трения. Электромагнитное взаимодействие гораздо более мощное, чем гравитационное. Но благодаря наличию зарядов двух противоположных знаков создаваемые ими электромагнитные поля могут взаимно компенсировать друг друга.



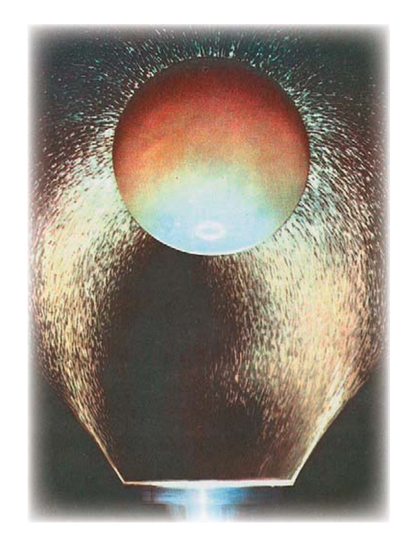
Закон тяготения: $F = G\frac{m_1 m_2}{R^2}$

$F$ — сила тяготения; $G$ — постоянный коэффициент; $m_1$ и $m_2$ — массы тел; $R$ — расстояние между телами

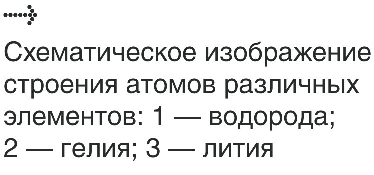
Еще два типа взаимодействий относят к «скрытым». Им соответствуют короткодействующие силы, они работают лишь на расстояниях порядка атомного ядра.

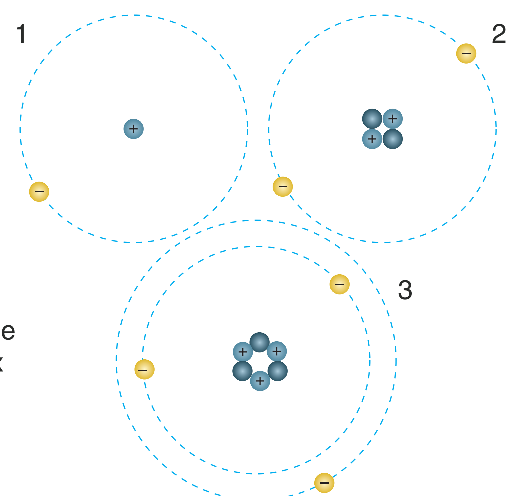
Сильное (ядерное) взаимодействие «удерживает» положительно заряженные протоны в ядре атома, не давая им разлететься из-за электрического отталкивания. Сильные взаимодействия обусловливают многие важные ядерные реакции в недрах звезд и образование тяжелых элементов путем захвата ядрами нейтронов. Эти процессы происходят во время вспышек сверхновых звезд. Расчеты показывают, что путем последовательного захвата нейтронов можно «сконструировать» все стабильные элементы таблицы Менделеева.

Слабое взаимодействие играет исключительно важную роль в эволюции звезд. Именно медленность основной ядерной реакции в центре Солнца объясняет долголетие звезд такого типа (более 10 млрд. лет).



Силовые линии электрического поля около металлического шарика, под которым установлен катализатор






Схематическое изображение строения атомов различных элементов: 1 — водорода; 2 — гелия; 3 — лития

# Как исследуют Вселенную?

*Телескоп — основной прибор для астрономических исследований. Любители астрономии используют маленькие телескопы, ученые имеют в своем распоряжении крупные оптические устройства. Все телескопы объединяет общая задача: они созданы для изучения космических тел в подробностях, недоступных невооруженному глазу. Телескопы различных конструкций помогают решать разные задачи. Чтобы правильно выбрать телескоп, нужно знать его оптические характеристики и возможности.*

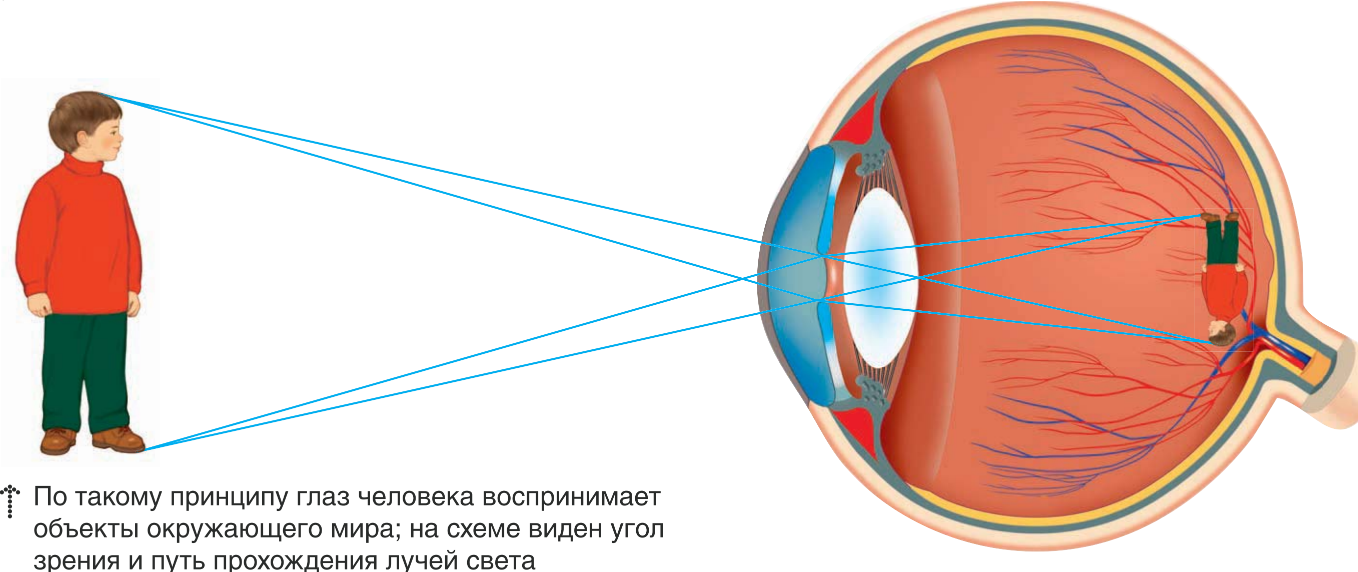

Старинный зеркальный телескоп

## Свойства телескопа

Мы видим окружающие предметы только потому, что они излучают или отражают световые волны. Если света мало, наблюдаемый предмет виден плохо, а если света будет еще меньше, предмет вообще перестанет быть видимым. Следовательно, если увеличить количество света, попадающего в глаз от данного источника, его видимость улучшится. Прибором, позволяющим увеличить количество света, является телескоп. С помощью объективов они собирают свет и направляют его на светочувствительные приемники или непосредственно в глаз.

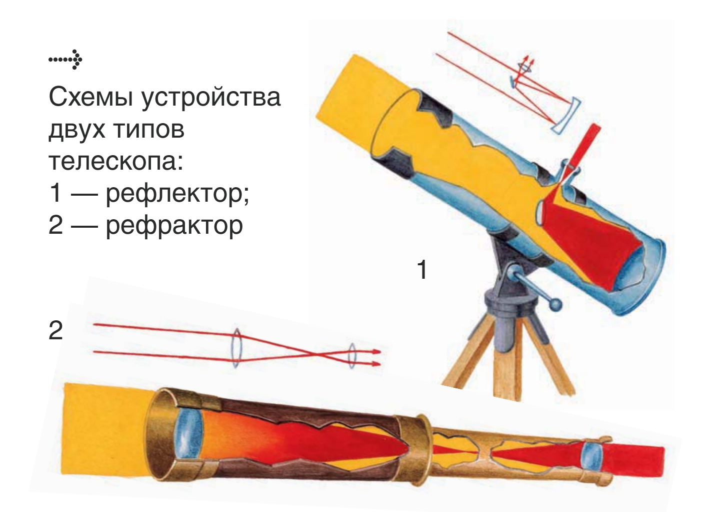
Угол зрения — это угол между прямыми линиями, проведенными от глаза к краям наблюдаемого предмета. Чем больше этот угол, тем виднее мелкие детали. Самый простой способ увеличить угол, под которым виден предмет, — приблизиться к нему, но для астрономов такой путь нереален. Есть и другой способ: поставить перед глазом специальный оптический прибор. Если углы между лучами света, прошедшими через оптический прибор, увеличатся, то можно будет увидеть мелкие детали рассматриваемого предмета.

Итак, телескоп нужен для того, чтобы, во-первых, увеличить количество света, приходящего от небесного тела, а во-вторых, увеличить угол зрения при наблюдении объекта и тем самым изучить его мелкие детали. Главные характеристики телескопа: размер поля резкого зрения, светосила, разрешающая способность и проницающая способность.


По такому принципу глаз человека воспринимает объекты окружающего мира; на схеме виден угол зрения и путь прохождения лучей света

## Основные системы

Чтобы изменить ход лучей света в нужном направлении, в телескопах используются линзы и зеркала. Телескопы, в которых объектив состоит из линз, называются рефракторами (от лат. «преломление»). Телескопы с объективом из одного или нескольких зеркал называются рефлекторами (от лат. «отражаю»). Все современные большие телескопы — рефлекторы. Если объектив телескопа состоит и из линз, и из зеркал, такой телескоп называют катадиоптрической системой.




Схемы устройства двух типов телескопа:
1 — рефлектор;
2 — рефрактор

Одиночная линза не может собрать в одну точку лучи света разных цветов, т. к. они преломляются в стекле линзы по-разному. Телескоп-рефрактор с двухлинзовым объективом впервые изготовил англичанин Доллонд в 1758 г. Две линзы (положительная и отрицательная, сделанные из различных сортов стекла) позволяют собрать в одну точку лучи двух цветов, а остальные лучи собираются поблизости.

Рефлектор Ньютона был изобретен в 1668 г. Объектив телескопа — вогнутое зеркало. Чтобы вывести пучок света на приемник, на его пути ставят плоское диагональное зеркало. Такой телескоп дает очень хорошее изображение звезды, но только в том случае, если звезда находится на оси симметрии зеркала и наблюдатель видит ее в центре поля зрения. Лучи света всех цветов отражаются от зеркала одинаково, поэтому рефлектор не имеет хроматической аберрации.

Телескоп Шмидта (катадиоптрическая система) был изобретен в 1932 г. эстонским оптиком Бернхардтом Шмидтом. Передняя линза (коррекционная пластинка) имеет сложную форму, главное зеркало имеет форму сферы. Центр передней линзы совпадает с центром сферы главного зеркала. Такая комбинация позволяет получить хорошие изображения на значительном поле зрения. Телескоп применяется для фотографирования объектов, имеющих значительный угловой размер (например, туманности), или для получения снимков больших областей неба.



Современный телескоп — это сложная система взаимодействия оптики и механики

**Ни один телескоп не дает идеального изображения наблюдаемого участка неба. Искажения, вносимые телескопом, называются аберрациями. Существуют аберрации разных типов. Они сводятся к окрашиванию изображения (хроматическая аберрация), к его размыванию (потере резкости) или искажению формы. За 400-летнюю историю телескопических наблюдений было изобретено много оптических систем телескопов, специально рассчитанных на то, чтобы уменьшить аберрации.**

# Как наблюдают с помощью телескопа?

*Десятки крупных телескопов и множество небольших инструментов в разных странах ежедневно и еженощно следят за небом. Совершенствуется техника, вступают в строй новые приборы и приемники излучения, непрерывно повышаются возможности телескопических наблюдений. У современного астронома на вооружении есть мощные устройства. Однако для решения многих задач наземных оптических инструментов недостаточно, поэтому создаются дорогостоящие космические обсерватории.*



Слово «телескоп» означает «смотрю вдаль»

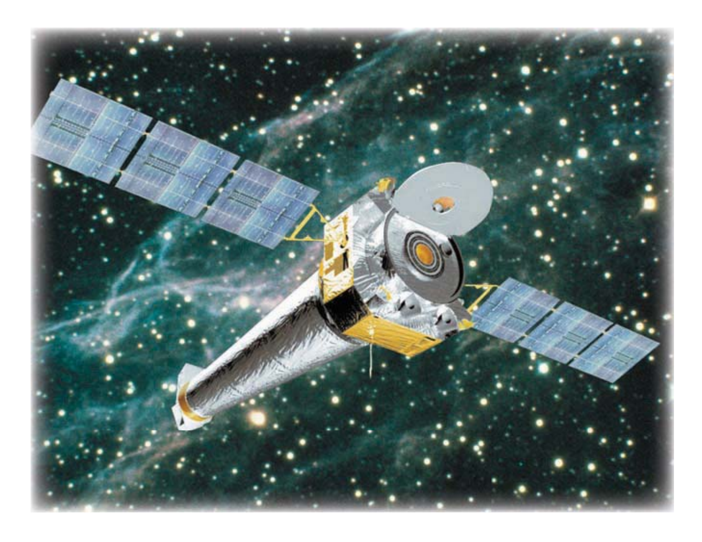
## Обсерватории

Телескоп — это не только оптический, но и сложный механический прибор. Он должен сохранять направление на движущийся объект иногда в течение многих часов. Большинство телескопов, кроме самых малых переносных, устанавливают на башне под вращающимся куполом. Купол имеет щель, через которую и производятся наблюдения. Но даже телескоп с хорошим объективом и удачной механической конструкцией может оказаться неэффективным, если атмосфера не позволит реализовать его возможности. Прежде чем строить обсерваторию, специалисты выбирают место с наилучшими атмосферными условиями, как правило, обсерватории строят в горных районах.

С развитием космической техники у астрономов появилась возможность выносить телескопы за пределы атмосферы. Преимущество наблюдений из космоса — отсутствие атмосферных помех. Космические телескопы по внешнему виду мало похожи на наземные, хотя часто имеют сходные оптические схемы. В космосе работают астрономические обсерватории самого разного назначения. Основное препятствие для их развития — очень высокая стоимость их проектирования, запуска и дистанционного обслуживания.

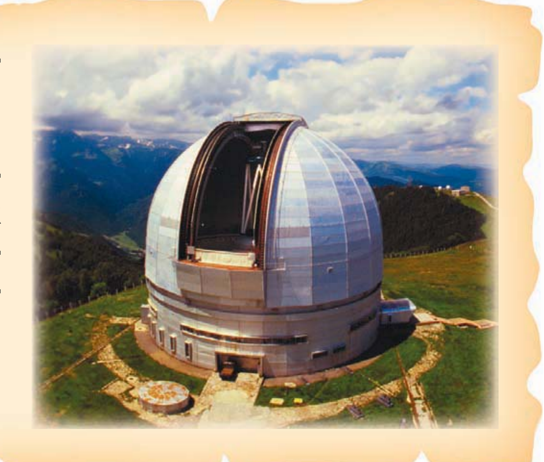


Телескоп-рефлектор в астрофизической лаборатории РАН на Северном Кавказе



Космическая обсерватория «Чандра» изучает небесные тела в рентгеновских лучах

**Самые крупные из существующих телескопов имеют зеркальные объективы размером 8—10 м. Однако уже строятся и проектируются новые телескопы еще больших размеров. Основная сложность этой работы — изготовление огромных высококачественных объективов. Современные крупные телескопы наводят в любую точку неба и отслеживают суточное движение светил автоматически. Некоторые телескопы допускают дистанционное управление с помощью всемирной компьютерной сети.**



## Приемники излучения

Особенностью профессиональных астрономических наблюдений является то, что они не производятся визуально. Как правило, объекты, исследуемые астрономами, слишком слабы, чтобы их можно было увидеть, приникнув глазом к окуляру. Поэтому на смену визуальным наблюдениям сначала пришла астрономическая фотография, а затем появились различные фотоэлектрические приемники излучения.

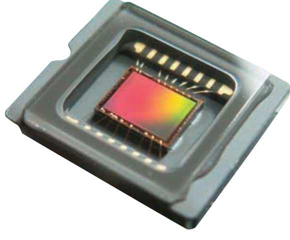
Действие фотографии основано на возбуждении светом в фотоэмульсии определенных химических реакций, продукты которых могут быть проявлены и зафиксированы. При фотографировании астрономы, как правило, используют фотопластинки: на них проще произвести измерения и они лучше сохраняются. Наиболее распространены два вида фотоэлектрических приемников света — фотоэлектронные умножители (ФЭУ) и приборы зарядовой связи (ПЗС).

ФЭУ представляет собой стеклянную трубку, из которой выкачан воздух. Передняя торцевая поверхность трубки (катод) покрыта полупрозрачным светочувствительным материалом. За катодом расположен ряд (10—15) металлических пластинок, называемых динодами. Между катодом и всеми этими пластинками проходит электрическое поле. Если на катод падает свет, фотоны взаимодействуют с атомами, и некоторые электроны приобретают энергию, достаточную для вылета из катода. Они попадают в электрическое поле, которое их ускоряет (увеличивает их энергию) и уносит к первой из металлических пластинок. Когда такой электрон попадает на пластинку, он выбивает из нее еще несколько электронов. Те в свою очередь ускоряются электрическим полем и уносятся к следующей пластинке, где каждый из них выбивает еще несколько электронов, и т. д. С помощью ФЭУ можно узнать общее количество пришедших фотонов, но не зарегистрировать изображение. ФЭУ широко применяют для измерения, например, световых потоков от звезд.

ПЗС позволяют зарегистрировать изображение объекта. Прибор состоит из большого числа крошечных светочувствительных полупроводниковых элементов, каждый из которых реагирует на свет появлением в нем свободных электронов. Для считывания и обработки изображения используют компьютер, на мониторе которого можно увидеть исследуемый объект. ПЗС сегодня являются основными приемниками излучения.



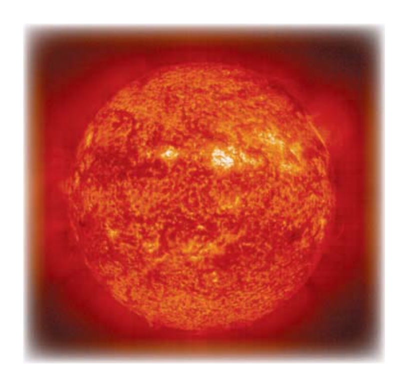
Фотоэлектронный умножитель



ПЗС-матрица в фотоаппарате

# Всеволновая астрономия

*Изучение физической природы и эволюции космических объектов стало возможно благодаря использованию замечательных открытий в физике — природы света и механизмов его излучения. Почти все, что мы знаем об окружающей нас Вселенной, получено по результатам наблюдений электромагнитного излучения астрономических объектов, которое представляет собой не только видимый свет, но и невидимое излучение, относящееся к различным областям электромагнитного спектра.*



Солнце в линии излучения ионизированного гелия

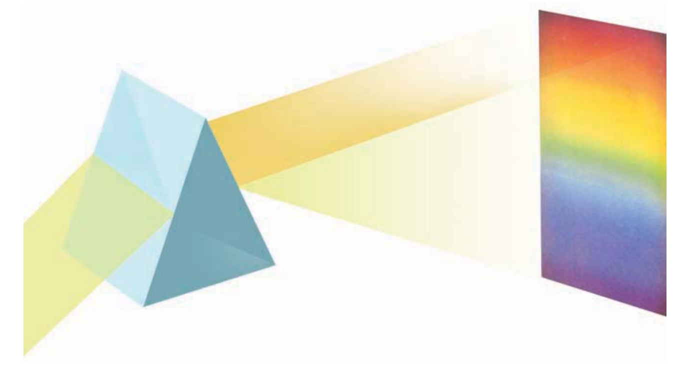
## Звездная величина

Каждый из объектов в небе испускает видимый свет и другие виды излучения, различающиеся энергией частиц (физики называют их квантами или, в случае видимого света, фотонами). Задача астрономических наблюдений — прием излучения и измерение его энергии (фотометрия). В основе фотометрического анализа лежат два подхода: измерение энергии световых лучей, т. е. числа пришедших световых квантов в определенном интервале длин волн; или выделение лучей одного цвета, соответствующих той или иной спектральной линии, с последующим измерением их длин волн.

| Объект | Звездная величина, m |
|---|---|
| Солнце | – 26,7 |
| Полная Луна | – 12,5 |
| Венера | – 4,4 |
| Юпитер | – 2,4 |
| Марс | – 1,9 |
| Меркурий | – 0,2 |
| Сатурн | 0,8 |
| Уран | 5,8 |
| Нептун | 7,6 |
| Плутон | 15,0 |
| Сириус | – 1,5 |
| Вега | 0 |
| Альтаир | 0,8 |
| Денеб | 1,2 |
| Бетельгейзе | 0,5 |
| Антарес | 1,0 |

Количество света, приходящее от различных объектов, измеряется в звездных величинах. Первую попытку оценить энергию излучения звезд сделал греческий астроном Гиппарх во II в. до н. э. Он разделил все видимые невооруженным глазом звезды на шесть классов (самые яркие — звезды 1-й величины, едва различимые — 6-й величины). Современная шкала звездных величин отражает, во сколько раз (а не на сколько) энергия, приходящая от одного источника, больше, чем от другого. Чем слабее источник, тем больше его звездная величина. Объектом нулевой звездной величины является звезда Вега.

Современным телескопам доступны объекты 28—29-й звездной величины. Для очень ярких звезд, планет, Луны и Солнца звездные величины отрицательны. Астрономы измеряют эти показатели с помощью фотометров, или детекторов изображения.



Разложение луча света на спектр при прохождении через стеклянную призму




1, 2 — спектры излучения и поглощения атома водорода; 3 — спектр Солнца

## Спектральный анализ

Видимый свет, воспринимаемый глазом человека, — это лишь разновидность электромагнитных волн, которые излучаются и поглощаются в виде отдельных порций энергии (квантов). Каждый квант обладает своим значением энергии, которому соответствуют определенная длина волны и частота электромагнитного излучения. Зависимость излучаемой источником или принимаемой от него энергии от длины волны, частоты или энергии квантов называется спектром электромагнитного излучения данного источника. Именно на основе анализа спектров излучения астрономы получают главную информацию о физических свойствах небесных тел.

У всех электромагнитных волн скорость распространения в вакууме одинакова и составляет почти 300 тыс. км/с. Длины световых волн очень малы (менее тысячной доли миллиметра), поэтому их обычно выражают в специальных единицах: нанометрах (1 нм = $10^{-9}$ м) и ангстремах (1 Å = $10^{-10}$ м). Частоты же световых волн очень велики (десятки миллионов гигагерц). Разную длину волны излучения наш глаз воспринимает как разный цвет (фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый, красный).

Участки инфракрасного спектра доступны наблюдениям со сравнительно небольших высот и могут изучаться с аэростатов и в высокогорных обсерваториях. Сильнее всего атмосфера поглощает ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучения. Эти области доступны наблюдениям только с ракет и искусственных спутников, оснащенных специальной аппаратурой.

**Максимум чувствительности глаза человека приходится на желто-зеленый диапазон спектра, но при низкой освещенности он смещается к зеленым лучам. Обычные астрономические фотопластинки чувствительнее всего к сине-фиолетовым лучам и совсем не реагируют на красные, а у фотоэлектрических приборов спектральная чувствительность может быть самой различной — все зависит от материала, из которого сделаны светочувствительные элементы приемника.**

Анализ спектров небесных тел — наиболее важный метод в астрономии, с помощью которого получена основная часть знаний о Вселенной. По расположению и числу спектральных линий можно определить, из каких химических элементов состоит излучающий объект, а также узнать его основные физические свойства (температуру, массу, плотность и др.). На форму спектральных линий влияет также различное движение отдельных частей источника, например его вращение или наличие газовых выбросов. По форме спектральных линий узнают, с какой скоростью вращаются звезды и даже целые галактики.



Международный космический проект: обсерватория «Спектр-Рентген-Гамма»

# Радиоастрономия

*Радиоволны имеют общую природу с видимым светом: это тоже электромагнитные волны, только длина их намного больше. Обнаруженное в 1932 г. радиоизлучение из космоса стало неожиданностью для ученых. Радиоастрономия фактически распахнула новое окно — в мир космических радиоисточников. Многие из них оказались объектами, известными по оптическим наблюдениям, но немало и таких объектов, которые до сих пор не удалось отождествить ни с какими источниками света.*

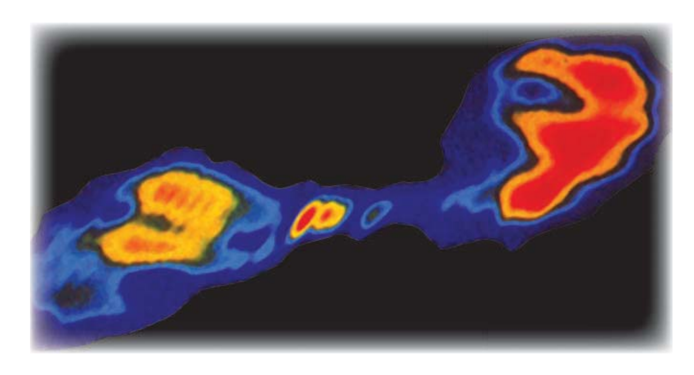


Современный радиотелескоп

## Радиоволны

Земная атмосфера пропускает радиоволны с длиной волны короче 20—25 м, поэтому в радиодиапазоне можно наблюдать небо так же, как и в диапазоне видимого света. Однако у человека нет органов чувств, позволяющих реагировать на радиоволны. К тому же космические радиоисточники очень слабы, их излучение невозможно зафиксировать с помощью обычного радиоприемника. Познакомиться с небом в радиодиапазоне удалось, когда в распоряжении ученых появились чувствительные приемники радиоизлучения и телескопы с большими радиоантеннами.

Радиоволны излучают любые космические объекты — Земля, Луна, планеты, звезды, однако мощность их излучения невелика. У облаков горячего межзвездного газа способность излучать в радиодиапазоне значительно выше. Фантастически высокой мощностью радиоизлучения обладают некоторые квазары и такие редко встречающиеся радиогалактики, как Лебедь А, которая излучает в радиодиапазоне больше энергии, чем все ее звезды, вместе взятые, в виде оптического света.



Так выглядит изображение радиогалактики в радиодиапазоне

## Природа излучения

Выделяют четыре основных процесса, в ходе которых рождается радиоизлучение.

1. Синхротронное радиоизлучение. Оно рождается прежде всего в магнитных полях межзвездного пространства, где с околосветовыми скоростями движутся заряженные частицы космических лучей, обладающие большой энергией. Самое мощное радиоизлучение производят наиболее легкие частицы — электроны. Синхротронную природу имеет излучение, приходящее от полосы Млечного Пути и центра Галактики, от самой крупной в Солнечной системе планеты — Юпитера, обладающего мощным магнитным полем.

2. Тепловое радиоизлучение в непрерывном спектре (т. е. распределенное по всему радиодиапазону). Им обладают все нагретые тела и среды. Оно обнаружено у планет, Солнца, межзвездных облаков ионизованного газа.

3. Тепловое радиоизлучение в спектральных линиях. Его излучает разреженный межзвездный газ, причем он не излучает в других областях спектра.

**По принципу действия радиотелескопы сходны с оптическими телескопами. Роль объектива играет антенна, функции которой — собрать со своей площади как можно больше энергии и направить ее на приемник излучения, называемый радиометром. После усиления радиоизлучение регистрируется и обрабатывается ЭВМ. Антенны радиотелескопов могут иметь разные конструкции и формы. Они бывают неподвижными и поворачивающимися, могут состоять из отдельных элементов либо рядов параллельно натянутых проволок.**



4. Мазерное излучение. Это излучение при определенных условиях могут рождать молекулы воды ($H_2O$) на длине волны 1,35 см, гидроксила (OH) на длинах волн около 18 см и метанола ($CH_3OH$) на ряде длин волн миллиметрового диапазона. Оно возникает в наиболее плотных межзвездных облаках (где зарождаются звезды), в протяженных оболочках гигантских звезд, а также в активных ядрах некоторых галактик.



Эллиптическая галактика Центавр А (NGC 5128) в созвездии Центавр является источником мощного радиоизлучения



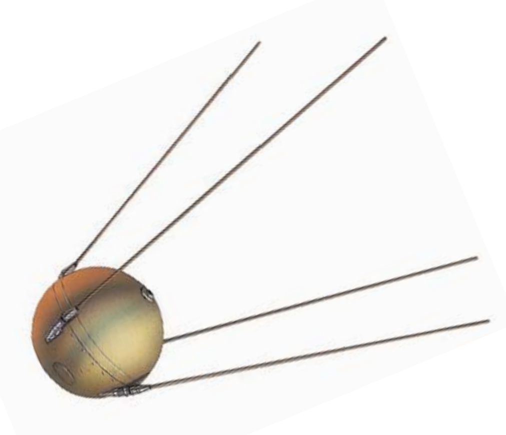
Самый большой в мире радиотелескоп в чаше потухшего вулкана в Аресибо

## Радиолокация

Помимо приема радиоволн антенны радиотелескопов используются для радиолокации тел Солнечной системы. Импульсы радиоизлучения посылаются к объекту, часть их отражается от его поверхности и приходит обратно, к Земле, где этот отраженный импульс принимает та же антенна. Радиолокационные наблюдения планет позволили с высокой точностью определить расстояния до них. Свободно проходя через атмосферу Венеры, отраженные радиоволны донесли до нас информацию о рельефе ее поверхности, что позволило путем радиолокации как с Земли, так и с орбиты вокруг планеты построить карту рельефа Венеры. Радиолокация Меркурия помогла выявить скорость его осевого вращения (до этого Меркурий ошибочно считался повернутым к Солнцу все время одной стороной). Радиолокация Луны и других тел с твердой поверхностью используется также для того, чтобы определять свойства и состав их поверхностных слоев. Удалось даже произвести радиолокацию Солнца, подтвердившую, что отражение радиоволн происходит не от его поверхности, а значительно выше — от верхних слоев атмосферы Солнца.

# Освоение космоса

*4 октября 1957 г. человечество вступило в космическую эру. Советская ракета-носитель Р7 вывела на орбиту первый искусственный спутник Земли. Спутник продержался на орбите 92 дня, его радиопередатчики работали две недели с момента старта. Дорога в космос была открыта. Сегодня на земной орбите находятся сотни спутников, запущенных различными странами, и одна орбитальная станция. Созданные человеком космические аппараты побывали на самых дальних окраинах Солнечной системы.*



Первый искусственный спутник Земли

## Первые космонавты

Важный шаг в освоении космоса был сделан 12 апреля 1961 г. С космодрома Байконур стартовала ракета-носитель «Восток» с первым космонавтом на борту. Им стал наш соотечественник Ю. А. Гагарин. Первый полет человека в космос продолжался около двух часов, космический корабль сделал один виток вокруг Земли и приземлился.

11 августа 1962 г. состоялся первый в мире групповой космический полет: на орбиту были выведены корабли с космонавтами А. Николаевым («Восток-3») и П. Поповичем («Восток-4»). Продолжительность космических «путешествий» к этому времени выросла в десятки раз («Восток-3» почти за четверо суток совершил 92 витка вокруг Земли). Первые космические корабли поднимались на высоту около 200 км. Это типичная высота полета для большинства современных спутников и орбитальных космических станций. К примеру, работающая в настоящий момент Международная космическая станция (МКС) вращается вокруг Земли на высоте от 331 до 339 км.

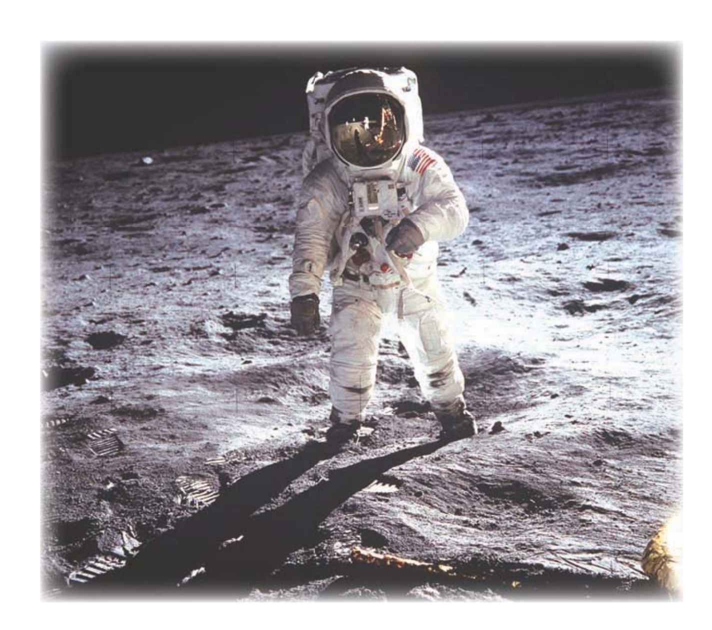



Первый выход в открытый космос совершил советский космонавт А. А. Леонов

## Череда открытий

В 1960—1970-х гг. освоение космоса шло под знаком соперничества двух великих держав — СССР и США. На этот период пришлись почти все «знаковые» события космической эпохи. В 1964 г. на корабле «Восход-1» впервые полет в космос совершила группа космонавтов — экипаж из трех человек. В 1965 г. состоялся первый выход человека в открытый космос.

В 1968 г. трое американских астронавтов на корабле «Аполлон-8» совершили путешествие к Луне. Корабль сделал восемь витков вокруг нашего спутника и возвратился на Землю. А в 1969 г. на Луне совершил посадку корабль «Аполлон-11». Первым человеком, спустившимся на поверхность Луны, стал астронавт Н. Армстронг.



Астронавт космического корабля «Аполлон-11» на поверхности Луны

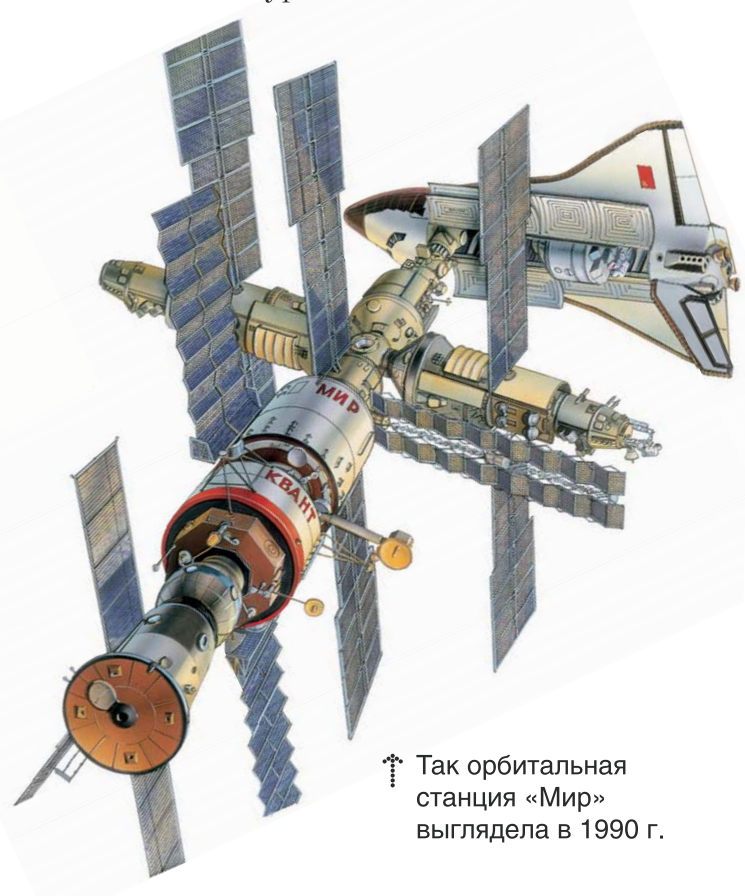
**Освоение космоса знает не только победы, но и поражения. 24 апреля 1967 г. из-за того, что не раскрылся парашют посадочной капсулы, погиб космонавт В. Комаров, а в 1970 г. из-за разгерметизации корабля «Союз-11» при посадке погиб его экипаж — космонавты Г. Добровольский, В. Пацаев и В. Волков. 28 января 1986 г. мир потрясла катастрофа американского шаттла «Челленджер», унесшая жизни семерых астронавтов, а 1 февраля 2003 г. при посадке потерпел крушение шаттл «Колумбия» с таким же количеством астронавтов на борту.**

## Космические станции

В 1971 г. на околоземную орбиту была выведена первая орбитальная станция — «Салют-1». Она проработала 175 дней и успела принять одну экспедицию. Первая (и единственная) американская станция — «Скайлаб» — была выведена на орбиту в мае 1973 г. и проработала до июля. Если американцы после «Скайлаба» отказались от этой идеи, то СССР до конца XX в. вывел на орбиту 7 станций. Последняя, «Мир», проработала на орбите с 1986 по 2001 г.

Американцы в это время занимались другим грандиозным проектом, а именно созданием пилотируемых кораблей многоразового использования. Первый «космический челнок» (по-английски «спейс шаттл») совершил полет 12 апреля 1981 г. Всего было построено шесть таких кораблей.

Символом сотрудничества стала Международная космическая станция, первый модуль которой был выведен на орбиту в ноябре 1998 г. В создании станции приняли участие Россия, США, Япония, 11 европейских стран и даже Бразилия. Теперь эта станция — самый массивный из «космических домов». Ее вес составляет более 245 т, а после присоединения всех предполагаемых модулей будет превышать 471 т. Длина станции составляет 58,2 м, ширина — 44,5 м, а высота — 27,4 м. Сегодня на станции работает очередная экспедиция, при этом сюда совершают полеты не только космонавты, но и космические туристы.




Так орбитальная станция «Мир» выглядела в 1990 г.



Советская станция «Луна-16» в 1970 г. впервые взяла образцы лунного грунта и доставила их на Землю

## Беспилотные полеты

Спор о том, кому — человеку или беспилотным кораблям — надо осваивать космос, ведется уже давно. Конечно, пока лишь человеку под силу выполнение ряда задач. Но какой космонавт выдержит, скажем, 12-летнее путешествие к Нептуну? Кроме того, стоимость пилотируемого полета в сотни и тысячи раз превышает стоимость отправки беспилотного автомата! В результате пилотируемые полеты сейчас осуществляются только на околоземную орбиту. А космические корабли-автоматы выполняют разнообразные миссии по всей Солнечной системе.

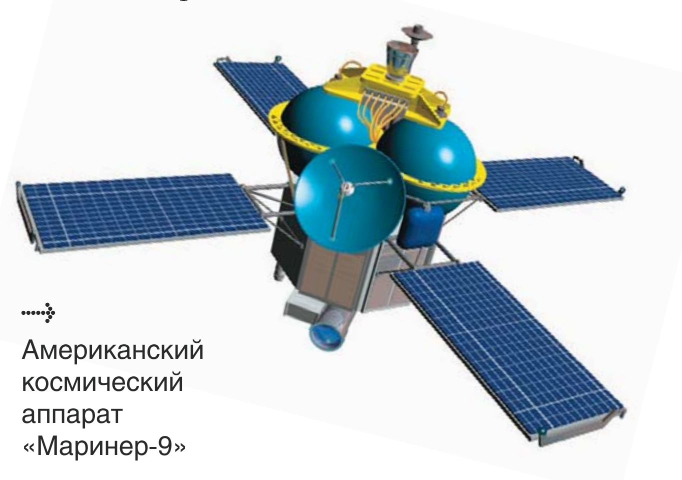
Первым беспилотным космическим «роботом» стал советский спутник, запущенный в 1957 г. А в 1958 г. было положено начало длинному списку открытий. Данные с первого американского спутника, запущенного в 1958 г., подтвердили существование радиационных поясов вокруг Земли. В конце 1950-х гг. были получены первые фотографии Земли из космоса. Одно из крупных достижений этого этапа освоения космоса — фотографии обратной стороны Луны, полученные станцией «Луна-3».

## Планетный десант

Начало межпланетных путешествий совпадает с началом полетов человека в космос. 12 февраля 1961 г. к планете Венера отправилась автоматическая межпланетная станция (АМС) «Венера-1». Станция проследовала на расстоянии 100 тыс. км от поверхности Венеры. Этот аппарат стал первым, запущенным с околоземной орбиты. Миссия первой станции оказалась не совсем удачной: связь с ней прервалась, ей не удалось совершить посадку на Венеру. Но на Земле снова готовились к старту.

В 1966 г. аппарат «Венера-3» впервые достиг другой планеты. Правда, из-за потери связи станция не сумела передать никакой информации. В следующем году станция «Венера-4» произвела исследование атмосферы Венеры. В 1970 г. спускаемый аппарат станции «Венера-7» совершил мягкую посадку на поверхность планеты и в течение 20 минут передавал на землю информацию. Всего в рамках программы «Венера» было запущено 16 автоматических станций.

В 1964 г. станция «Маринер-4» прошла на расстоянии 9846 км от Марса. На Землю были переданы первые фотографии «красной планеты». В 1969 г. на расстоянии 3400 км от поверхности Марса прошли аппараты «Маринер-6» и «Маринер-7», а в 1971 г. на орбиту вокруг Марса вышел его первый искусственный спутник — станция «Маринер-9», которая проработала на марсианской орбите 349 дней.



Американский космический аппарат «Маринер-9»

## За пределы Солнечной системы

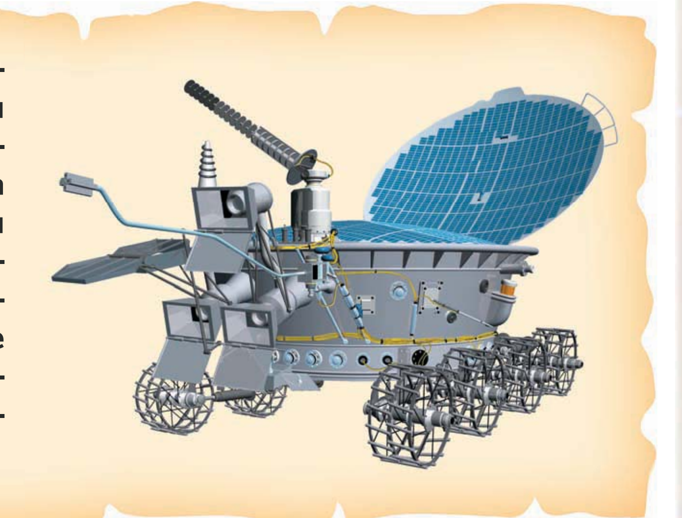
Вслед за нашими ближайшими соседями по Солнечной системе настала очередь далеких внешних планет — Юпитера, Сатурна и Урана, а также самой близкой к Солнцу планеты — Меркурия. В 1972 г. была запущена американская станция «Пионер-10» — первая, выведенная на траекторию, следуя по которой станция покинет Солнечную систему. Станция миновала пояс астероидов, в 1972 г. прошла мимо Юпитера на расстоянии 130 тыс. км от поверхности (на Землю были переданы фотографии), в 1983 г. станция миновала орбиту Нептуна. Последний, слабый сигнал был принят в январе 2003 г., к этому времени станция удалилась от нас на 12 млрд. км, что в 80 раз превышает расстояние от Солнца до Земли. Сегодня станция медленно приближается к границе Солнечной системы, на своем борту она несет пластинку с посланием возможным «братьям по разуму».

Пожалуй, самой знаменитой космической миссией «к большим планетам» стала миссия «Вояджеров». «Вояджер-1», запущенный в 1977 г., в 1978 г. побывал в окрестностях Юпитера, а в 1980 г. уже исследовал систему Сатурна. «Вояджер-1» стал первым космическим аппаратом, исследовавшим второй по величине планетный спутник в Солнечной системе — загадочный Титан.

Проект американских межпланетных станций «Вояджер» считается одним из самых успешных

Ради этой встречи с Титаном исследователи пожертвовали другой заманчивой целью — Плутоном. После пролета Сатурна космический аппарат умчался к границам Солнечной системы, причем умчался — в самом прямом смысле слова. В ходе своих маневров «Вояджер-1» разогнался так, что является сегодня самым быстрым из всех созданных когда-либо человечеством транспортных средств. «Вояджер-1» опередил запущенный ранее «Пионер-10», до 2010 г. земляне еще будут принимать его сигналы, а полное обесточивание приборов аппарата произойдет к 2020 г.

**Чтобы основательно изучать планету, необходимо на нее приземлиться. Еще лучше, если посадочный аппарат будет перемещаться, повинуясь командам с Земли. В 1970-х гг. мечта планетологов сбылась: первой космической «самоходной лабораторией» стали знаменитые луноходы. Конструкция оказалась настолько хороша, что ее взяли на вооружение при разработке марсоходов. Самыми работоспособными и знаменитыми стали два марсохода: «Спирит» и «Оппортьюнити».**



*Зародившись и развиваясь в довольно комфортных условиях нашей планеты, жизнь демонстрирует невероятно широкий диапазон возможностей и механизмов приспособления. В настоящее время доказательств существования внеземных форм жизни нет. Однако надежды обнаружить их не беспочвенны, особенно если учесть огромное количество других планетных систем, кроме Солнечной, где могут быть такие же благоприятные условия, как на Земле.*



Даже на голых камнях появляются и живут примитивные организмы

## Теории возникновения жизни

Процесс эволюции живого вещества очень сложен и длителен. Начало движения по этому пути восходит к межзвездной среде: там среди молекул найдено немало органических. Обнаружено органическое вещество и в составе метеоритов. В них ученые нашли такие важные составляющие животных и растительных белков, как аминокислоты. А это значит, что органическое вещество может попадать на планеты из космоса. На поверхности самих планет органические молекулы также могут синтезироваться из простейших веществ. Это убедительно показали биохимики, в лабораторных условиях имитировавшие первичную атмосферу планет.

Некоторые ученые считают, что «чудо рождения жизни» требует невероятно редкого сочетания многих факторов, а потому не может происходить во Вселенной часто. Они не исключают, что жизнь, возникнув лишь однажды, затем распространяется с планеты на планету. В связи с этим часто упоминается гипотеза о межпланетном переносе жизни (давлением света звезды, метеоритами, какими-то разумными существами).

Простейшие одноклеточные — амебы приспособились к различным условиям жизни

**Еще в XV—XVIII вв. появлялось немало книг с фантазиями об обитателях Луны — селенитах и о путешествиях с Земли на Луну. Изучение лунной поверхности с помощью телескопов, с одной стороны, указало на отсутствие у Луны плотной атмосферы, а с другой — выявило множество интересных деталей, например извилистые узкие долины, напоминающие речные русла. В середине XX в. при возвращении космических аппаратов с Луны на Землю их тщательно обследовали на предмет поиска неземных микробов.**





При изучении Долины Маринера на Марсе появилась гипотеза, что в далеком прошлом здесь текла вода

## Главные условия

Некоторые микроорганизмы выдерживают самые экстремальные условия внешней среды: могут жить в горячей воде и при низкой температуре, размножаться в очень кислых или щелочных условиях, при наличии высокой радиации, выдерживают пониженное и повышенное давление. Однако есть условия, без которых невозможно зарождение и поддержание жизни. Одно из таких условий — наличие жидкой воды. Очень жесткие требования, необходимые для жизни, предъявляются к температуре (при ее повышении белок меняет свои свойства). Температура поверхности планеты земного типа, имеющей сравнительно разреженную атмосферу, в основном зависит от мощности излучения дневного светила и расстояния до него. Вокруг любой звезды существует определенная область — «зона жизни», за пределы которой орбиты планет не должны выходить, чтобы на них могла появиться жизнь. Солнце как раз является такой звездой, а наша Земля движется в середине его «зоны жизни». Таким образом, можно надеяться, что у любой солнцеподобной звезды, обладающей планетной системой, похожей на Солнечную систему, найдется хотя бы одна планета с условиями, пригодными для развития жизни. В межзвездном пространстве встречаются и одинокие планеты. Они тоже вполне могут быть обитаемыми, если жизнь на них зародилась к моменту вылета из своей системы. Одним словом, во Вселенной есть немало мест, где можно искать неизвестные формы жизни.

## Есть ли жизнь на Марсе?

Поиск жизни на других планетах — это обычная научная работа, хотя порой она выглядит фантастикой. Самым «перспективным» местом для поиска органической жизни долгое время считался Марс. Однако автоматические станции, направленные к Марсу и совершившие посадку на его поверхности, позволили близко познакомиться с его ландшафтом и климатом. Там холодно (днем не больше 0 °C), сухо, очень разреженный воздух, и потому сильное ультрафиолетовое излучение Солнца; поверхность Марса интенсивно бомбардируется метеоритами. Сейчас практически не осталось надежды обнаружить на Марсе жизнь.

Значительно большее сходство с Землей, как оказалось, имеют не сами планеты, а некоторые их спутники — Титан, Европа, Тритон, Ио. Повышенное внимание биологов привлекает спутник Юпитера — Европа. Хотя он и лишен атмосферы, но, по-видимому, имеет под ледяной поверхностью океан жидкой воды комнатной температуры. Сейчас есть проекты его исследования.



По мнению ученых, на Европе могут быть вода и органические соединения



В представлении землян инопланетные формы жизни могут принимать самые фантастические обличия

## Поиск «братьев по разуму»

Много замечательных открытий сделали ученые в XX в., но одно давно и с нетерпением ожидаемое открытие, которое могло бы изменить наш мир, пока не состоялось: мы до сих пор не смогли обнаружить космических «братьев по разуму». Ученых никогда не покидала надежда обнаружить высокоразвитую цивилизацию во Вселенной и вступить с ней в контакт. О важности подобного контакта для человечества не приходится говорить, но пока все попытки принять «разумный» сигнал из космоса не увенчались успехом. Человечество, ощущая одиночество во Вселенной, задает себе глобальные вопросы: всегда ли развитие жизни приводит к появлению разума? Способна ли долго существовать технически развитая цивилизация? Насколько безопасен для нас поиск «братьев по разуму»?

Первые серьезные попытки вступить в контакт с внеземным разумом предприняли в 1960 г. американский радиоастроном Френсис Дрейк и его коллега по «Проекту ОЗМА». Они направили радиотелескоп с диаметром антенны 26 м на звезды τ Кита и ε Эридана, ожидая, что у этих близких к нам и очень похожих на Солнце звезд могут быть планеты, подобные Земле, населенные высокоразвитыми существами. Если бы эти существа имели такую же аппаратуру, как у Дрейка, то с ними можно было бы поддерживать радиосвязь. Однако никаких сообщений из космоса принять тогда не удалось.

За «Проектом ОЗМА» последовали гораздо более масштабные эксперименты. Радиоастрономы США, СССР, Англии, Австралии и других стран направляли высокочувствительные антенны на сотни близких и далеких звезд, звездных скоплений и даже в иные галактики. Сначала эта работа получила название «связь с внеземными цивилизациями». Позже ученые стали использовать более осторожное название — «поиск внеземных цивилизаций».

## Заветная радиоволна

Каждый раз, приступая к эксперименту, ученые должны были определить, на какой объект направить антенну, на какую волну настроить приемник и как отличить «разумный» сигнал от космических «шумов».

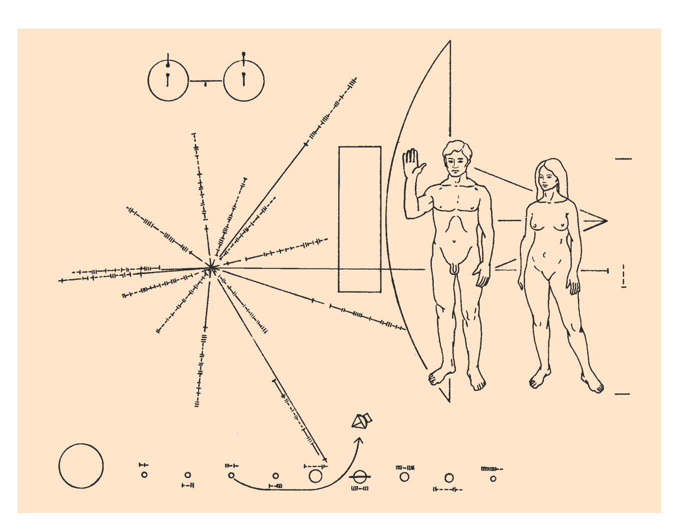
Первый вопрос обычно решался просто: антенны направляли на ближайшие звезды,



Для получения более точных данных устанавливают целую сеть радиотелескопов

похожие на Солнце, в надежде, что рядом с ними есть планеты, подобные Земле. Второй вопрос оказался сложнее. Когда мы «ловим» радиостанцию, то крутим ручку настройки приемника и «бродим» по всему диапазону волн. Мощная станция слышна сразу, а чтобы найти слабый передатчик, нужно медленно переходить с волны на волну, внимательно прислушиваясь к шороху помех; на это уходит много времени. Ожидаемый из космоса сигнал предположительно настолько слаб, что, просто вращая ручку приемника, его не найдешь, да и ручки такой у астрономических радиоприемников нет: эти приемники постоянно настроены или на одну волну, или на какое-то число волн.

В 60—70-е гг. XX в. ученые пытались угадать, на какой волне можно ожидать передачу из космоса. Очень популярной была идея искать сигнал на волне длиной 21 см, поскольку именно на этой волне излучает межзвездный водород, заполняющий всю Галактику. Предполагалось, что эту волну должен знать каждый радиоастроном на любой планете и иметь соответствующий приемник. Сейчас такая стратегия поиска выглядит наивной. Только представьте: тысячи радиоастрономов по всей Галактике сидят у своих приемников и ждут сигналов, а передачу ведет... только межзвездный водород.



Такое послание было отправлено в космос вместе с аппаратом «Пионер-10»

**С появлением новых технических возможностей радиоастрономы изменили стратегию поиска. Они начали не только принимать, но и передавать сигналы в космос. Первая радиограмма была отправлена 16 ноября 1974 г. из радиоастрономической обсерватории США в Аресибо (Пуэрто-Рико) в направлении шарового звездного скопления М 13, в котором около миллиона звезд, подобных Солнцу. Если даже предположить, что это сообщение будет кем-то принято, то отнюдь не скоро — сигнал доберется туда лишь через 25 тыс. лет.**



## Надежда есть

В наше время техника радиоприема усовершенствовалась. Специальные многоканальные приемники радиотелескопов во время экспериментов одновременно прослушивают миллионы (!) каналов, перекрывая практически весь диапазон космического эфира. Правда, до сих пор не решена проблема, в направлении каких звезд (или не звезд?) следует наводить радиоантенну. Наилучший вариант — прослушать все уголки Галактики, но для этого потребуется немалое время.

Даже если оснащение крупных радиотелескопов новой, «умной» аппаратурой и не приведет к обнаружению разумных сигналов, это все равно позволит открыть интересные космические явления. Так оно в действительности и происходит. Пока. Но кто может поручиться, что завтра или даже сегодня ночью мы не услышим из космоса «разумный» сигнал?


Hercules
CANIS MAJOR
CETUS
Æquator
Æquator
Eridanus
Robur Carolinum



# Что можно видеть на небе?

**Солнце, Луна, звезды — привычные для нас небесные тела. Но, оказывается, даже невооруженным глазом на небе можно увидеть несколько тысяч интересных объектов! Главное, знать, как, когда и куда смотреть. Звезды складываются в удивительные созвездия, движение Солнца и Луны происходит по особым правилам, периодически случаются затмения светил, появляются и исчезают из вида планеты, кометы, метеоры. В этом разделе вы научитесь читать небесную книгу и ориентироваться в четкой системе небесных координат.**

*Невооруженным глазом человек может видеть на небе несколько тысяч объектов — это Солнце, Луна, планеты и звезды разной яркости. Люди наблюдали небесные светила с древнейших времен. Картина ночного неба порождала мифологические и религиозные представления, яркие поэтические описания. Изменения взаимного положения звезд происходят так медленно, что и сегодня над нашей головой находятся те же звездные узоры, которые видели древние вавилоняне и древние греки.*



Светящееся кольцо (гало) вокруг диска Луны

## Небо древних мудрецов

Древние греки очень тонко ощущали связь между познавательной и эстетической сторонами восприятия звездного неба. Они даже ввели в число девяти муз (мифологических покровительниц искусств) Уранию — музу астрономии, так что астрономия оказалась единственной из естественных наук, удостоившейся этой чести.

Извечный интерес к устройству мира, в котором живет человек, побуждал древних мудрецов к построению систем мира, где небесные светила играли очень важную роль. Следовало объяснить те изменения, которые происходят со временем на Земле и на небе, и согласовать их между собой. Именно изучение видимых движений светил дало древним мыслителям материал для размышлений об устройстве Вселенной. Из этих наблюдений древние греки сделали потрясающий вывод, что Земля — шар, висящий в пространстве и ни на что не опирающийся. Все системы мира (модели Вселенной) вплоть до Коперника основывались на наблюдениях видимых перемещений светил. При этом древние учитывали не только суточное вращение небесной сферы, годичное движение Солнца по эклиптике, видимые движения планет среди звезд, но и такие трудноуловимые и медленные движения, как прецессия — перемещение точки весеннего равноденствия по эклиптике.



Вид ночного звездного неба на разных широтах имеет свои особенности



Небесные сферы по системе Птолемея. Гравюра из книги А. Целлариуса. XVII в.



Древние астрономические инструменты: треугольник, небесный глобус, гномон, полукруг с диоптром

## Не верь глазам своим

Следует иметь в виду, что вплоть до XVII в. астрономы не располагали основным в настоящее время прибором для исследования небесных светил — телескопом. В их распоряжении были только весьма простые угломерные инструменты. Отсутствовала возможность изучения каких-либо деталей структуры небесных объектов. Главной задачей астрономов была регистрация взаимных положений светил на небе и их движений. При этом видимое движение небесных объектов принималось за их истинное перемещение в пространстве, на этом построены древние системы мира. Понадобились многие века развития науки, чтобы прийти к выводу: то, что мы наблюдаем воочию, не может быть доказательством научной истины.

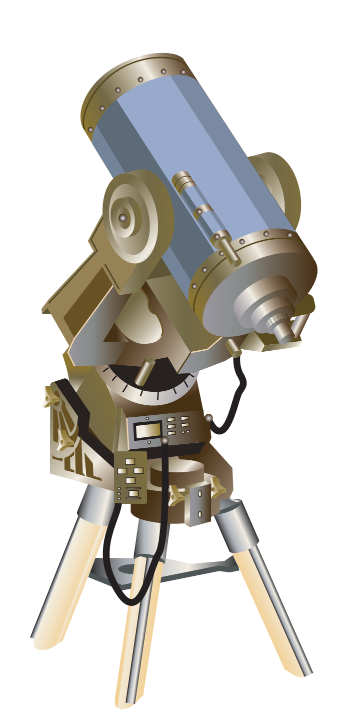
**Видимые движения светил тесно связаны с ритмами жизни человека, и именно они легли в основу счисления времени. Так, суточное вращение небесной сферы вызывает периодическую смену дня и ночи, что определяет продолжительность суток. С видимым перемещением Солнца по большому кругу небесной сферы, называемому эклиптикой, связана смена времен года, а время одного полного оборота Солнца по эклиптике составляет год.**

## Продолжаем наблюдать

Казалось бы, в наш научный век, когда техника изучения космоса достигла фантастического уровня, когда астрономы объясняют сложнейшие физические явления во Вселенной, есть ли смысл вновь возвращаться к таким древним понятиям, как небесная сфера, меридиан, эклиптика, точки равноденствия и т. д.? Ведь это всего лишь абстрактные геометрические построения, пришедшие к нам из античного мира.

Ведущей отраслью астрономии в последние десятилетия стала астрофизика, изучающая физические процессы в космических телах. Однако организация астрофизических наблюдений требует умения ориентироваться на звездном небе, знания особенностей видимого движения светил, сезонных изменений вида неба, умения прогнозировать события, происходящие на небе.

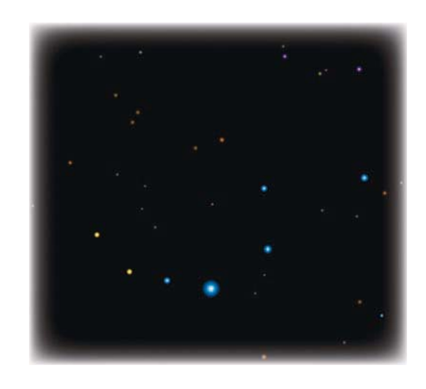
Бывает, что объект нельзя наблюдать в данном пункте вообще или что для наблюдений объекта нужно выбрать другое время. Это возвращает нас к древним системам описания неба. Не будучи истинными в физическом смысле, такие описания удобны для решения целого ряда задач: наведение телескопа, составление звездных карт.



Для правильного наведения телескопа нужно знать, что означают небесные координаты и какова точка их отсчета

# Созвездия

*Чтобы лучше ориентироваться среди огромного количества звезд, вся небесная сфера исторически поделена на отдельные участки — созвездия. Многие из них включают яркие звезды, которые легко найти невооруженным глазом. Несферичность формы Земли, подверженной влиянию притяжения Луны и Солнца, приводит к изменению местоположения полюсов мира относительно звезд. Со временем для земного наблюдателя полюсы мира будут указывать на совсем другие звезды и созвездия.*

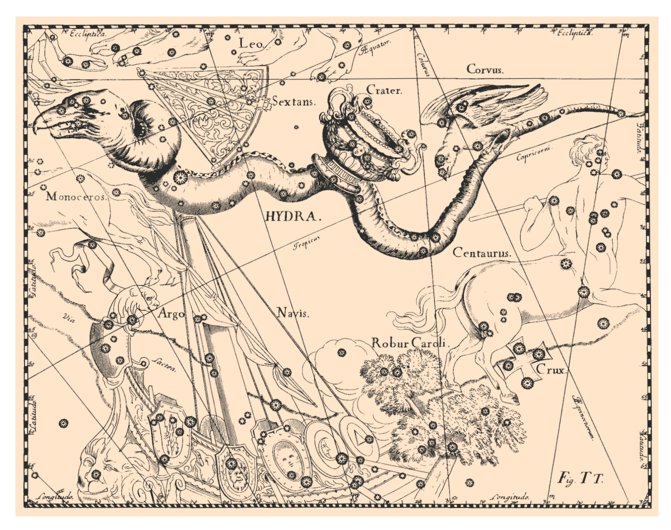


Полукруг ярких звезд — созвездие Северная Корона

## Размеры и видимость

Любая звезда, видим ли мы ее в телескоп или невооруженным глазом, входит в какое-нибудь созвездие. Созвездие — это участок звездного неба. Всего насчитывается 88 созвездий. Одни из них занимают огромную площадь и включают много ярких звезд. Другие, наоборот, довольно маленькие. Есть созвездия с такими неяркими звездами, что их нелегко отыскать.

Самое крупное созвездие — Гидра, на небе оно занимает площадь 1300 кв. градусов. Без телескопа в нем можно увидеть около 130 звезд. Созвездие Дева имеет площадь 1290 кв. градусов и содержит 95 звезд. Большая Медведица — соответственно 1280 кв. градусов и 125 звезд. Самые маленькие созвездия: Южный Крест (68 кв. градусов, 30 звезд), Стрела (80 кв. градусов, 20 звезд), Малый Конь (72 кв. градусов, 10 звезд). Для сравнения следует отметить, что видимый диск Луны занимает на небе примерно $^1/_5$ кв. градуса. Больше всего звезд, видимых невооруженным глазом, в созвездиях Лебедь и Центавр (Кентавр) — по 150, в созвездиях Геркулес и Корма — по 140.




Созвездия Гидра, Чаша и Ворон. Гравюра из атласа Я. Гевелия. XVII в.



**Первым карту звездного неба составил грек Евдокс Книдский (IV в. до н. э.). На ней созвездия, как зодиакальные, так и расположенные вне пояса зодиака, были представлены фигурами различных животных и героев древнегреческих мифов. В III в. до н. э. древнегреческий поэт Арат Солийский в поэме «Явления» изложил одноименный трактат Евдокса, т. е. описал деление звездного неба на созвездия. Поэма Арата — древнейшее из дошедших до нас полное описание греческих созвездий. В «Альмагесте» Птолемея (II в. н. э.) указаны 48 созвездий с названиями из древнегреческих мифов.**

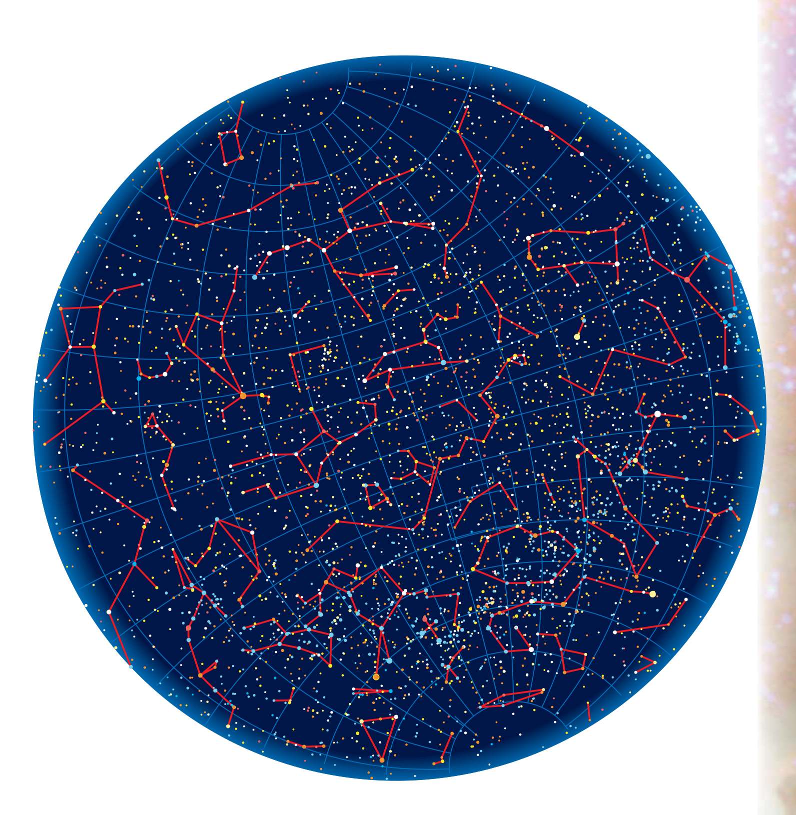
## Карта звездного неба

В 1603 г. немецкий астроном Иоганн Байер издал первый атлас звездного неба «Уранометрия». В нем каждое созвездие изображено как фигура из мифологических сюжетов. В атласе появились новые названия открытых южных созвездий, такие, как Павлин, Тукан, Летучая Рыба, Южная Гидра, Золотая Рыба, Райская Птица, Индеец и др. Эти названия отражают эпоху Великих географических открытий. В атласе Байера впервые звезды каждого созвездия были обозначены буквами греческого алфавита в порядке убывания яркости. Однако позже время внесло свои поправки. Например, в созвездии Близнецов, как выяснилось, звезда Кастор обозначена буквой α, но она слабее звезды Поллукс, обозначенной буквой β. То же со звездами в Орионе — Бетельгейзе (α) и Ригель (β). Для обозначения более слабых звезд, если не хватало греческих букв, использовали латинские.

В XVII в. польский астроном Ян Гевелий выделил и дал названия еще 11 созвездиям. На карте появились Гончие Псы, Жираф, Ящерица, Малый Лев, Единорог, Лисичка, Рысь и др. В XVIII в. французский астроном Никола Лакайль добавил еще 14 южных созвездий, в названиях которых получил отражение технический прогресс: Скульптор, Телескоп, Часы, Компас, Насос, Циркуль, Печь, Микроскоп и др. Постепенно карта звездного неба заполнилась созвездиями.



На старинных картах звездного неба каждое созвездие обычно сопровождалось характерным рисунком



Так выглядит современная карта звездного неба со схемами созвездий

Между ними появились извилистые границы, которые были опубликованы в 1842 г. в книге немецкого астронома Фридриха Аргеландера «Новая Уранометрия». В ней более точно указаны звездные величины звезд (до десятых долей).

Окончательное разделение неба на 88 созвездий было принято в 1922 г. на первом съезде Международного астрономического союза. Границы созвездий на картах обозначены линиями вдоль небесных параллелей и кругов склонения относительно координатной сетки на период 1875 г. Из-за прецессии координатная сетка со временем постепенно смещается и границы созвездий перестают совпадать с направлением кругов склонения и небесных параллелей.

В Северном полушарии неба полностью находятся 28 созвездий, 15 экваториальных созвездий расположены в обоих полушариях. В Южном полушарии неба — 45 созвездий. В средних широтах России наблюдаются лишь некоторые из них.



Четыре звезды созвездия Южный Крест хорошо видны на фоне Млечного Пути

## Видимость созвездий

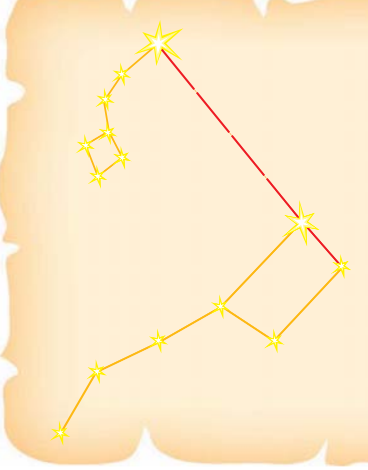
Видимость созвездий зависит от времени года и суток. Солнце в течение года проходит по зодиакальным созвездиям. Созвездие, в котором находятся Солнце и соседние с ним созвездия, увидеть нельзя. Зато в середине ночи хорошо видны созвездия в противоположной стороне неба, там, где Солнце было полгода назад. В результате суточного вращения звездного неба изменяется положение созвездий относительно горизонта: в восточной части неба созвездия поднимаются, в западной — опускаются. Граница между ними — небесный меридиан. Когда созвездие проходит через меридиан, оно наблюдается выше всего над горизонтом (верхняя кульминация) или, наоборот, ниже всего (нижняя кульминация), находясь по другую сторону полюса мира.

## Звезды незаходящие и невосходящие

Незаходящие звезды — те, у которых верхняя и нижняя кульминации проходят над горизонтом. Такие звезды можно наблюдать в любую ясную ночь независимо от времени года. Известно, что высота полюса мира над горизонтом равна широте места наблюдения. Значит, те звезды, у которых угловое расстояние от полюса не больше чем широта места, не будут заходить за горизонт. В центре области незаходящих звезд — Полярная звезда. Она находится в



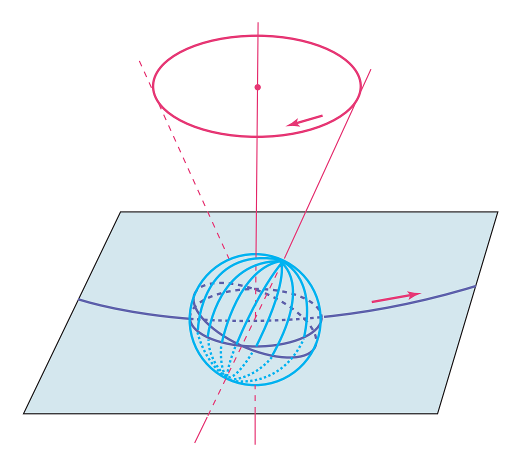

Созвездие Кассиопея. Гравюра из атласа Я. Гевелия. XVII в.



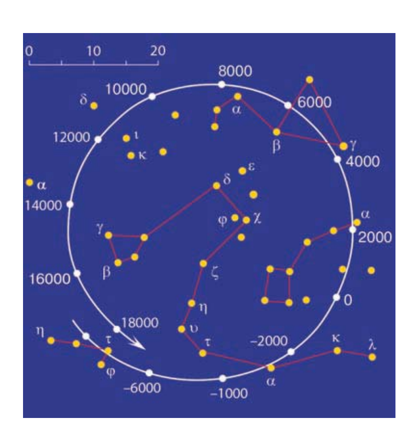
**Путеводная звезда — Полярная — расположена рядом с Северным полюсом мира. Но так было не всегда. В результате прецессии полюс мира медленно перемещается среди звезд. В 1000 г. до н. э. он был недалеко от β Малой Медведицы — звезды Кохаб. Около 2700 г. до н. э. полюс находился вблизи α Дракона — звезды Тубан, это зафиксировали китайские астрономы, а египтяне строили пирамиды с наклонными гранями так, что они были направлены на эту звезду во время ее нижней кульминации. В конце ледникового периода Северный полюс мира был недалеко от звезды Вега — α Лиры.**

рукоятке ковша Малой Медведицы. В средних широтах к незаходящим созвездиям относятся ковш Большой Медведицы, Дракон, Цефей, Кассиопея и малоизвестные Жираф, Рысь и Ящерица. У других созвездий только часть звезд не заходит под горизонт. Среди них такие яркие звезды, как Вега (α Лиры), Капелла (α Возничего), Денеб (α Лебедя), часть звезд Персея и др.

Невосходящие звезды — те, которые при суточном вращении небесной сферы не появляются над горизонтом. Для Северного полушария Земли невосходящие звезды — это звезды вблизи Южного полюса мира. Южный полюс мира лежит в созвездии Октанта, где нет звезд даже 3-й звездной величины. Не случайно мореплаватели в южных морях ориентировались по созвездию Южный Крест. Его большая диагональ указывает на одну из ярчайших звезд неба — Ахернар (α Эридана). Примерно посередине между Южным Крестом и Ахернаром лежит Южный полюс мира. В созвездии Киль находится звезда Канопус, занимающая по яркости второе место после Сириуса. Эту звезду выбрали в качестве опорной для ориентирования космических аппаратов, запускаемых к планетам. Выбор сделан потому, что Канопус не просто яркая звезда, но она лежит в направлении, перпендикулярном к плоскости эклиптики, т. е. всегда находится на расстоянии около 90° от Солнца.



На схеме прецессии виден конус, который описывает в пространстве земная ось




Северный полюс мира был у τ Геркулеса, α Дракона, сейчас он возле α Малой Медведицы, а затем будет у γ Цефея

## Прецессия

Причину прецессии (от лат. «прецессио» — «предшествование») Исаак Ньютон объяснил тем, что Земля не является идеальным шаром. Она сжата у полюсов и вздута в экваториальной зоне. Луна и Солнце своим притяжением воздействуют на экваториальную выпуклость Земли. Та часть выпуклости, которая оказывается ближе, скажем, к Луне, испытывает большее притяжение, чем противоположная выпуклость на другой стороне Земли. Разница притяжений создает пару сил, стремящуюся повернуть ось вращения Земли. По законам механики, это приводит к тому, что земная ось медленно меняет направление, описывая в пространстве конус с вершиной в центре Земли (с периодом 26 тыс. лет). Ось этого конуса остается перпендикулярной к плоскости орбиты Земли (т. е. к плоскости эклиптики).

Вследствие прецессии Северный полюс мира перемещается относительно звезд, описывая окружность вокруг Северного полюса эклиптики на расстоянии около 23,5°. Южный полюс мира то же самое движение совершает вокруг Южного полюса эклиптики, который лежит рядом со звездой δ Золотой Рыбы. Но описываемые полюсами мира малые круги не замыкаются, потому что полюса эклиптики тоже немного перемещаются среди звезд.

Из-за прецессии постепенно меняются экваториальные координаты звезд, а также медленно меняется вид звездного неба для каждой точки Земли.

# Звездное небо разных сезонов

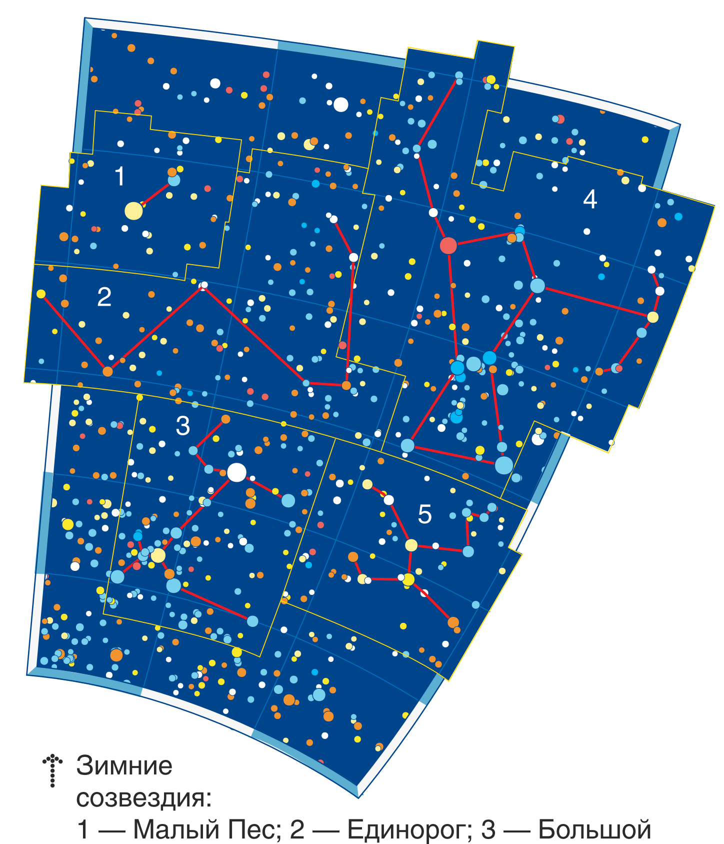
*В зависимости от перемещения Солнца по небесной сфере в течение года картина ночного звездного неба меняется. В каждый сезон одни созвездия наблюдаются хорошо, другие же могут быть вообще не видны. Поэтому можно говорить об отдельных картинах зимнего, весеннего, летнего и осеннего звездного неба.*

## Зимнее звездное небо

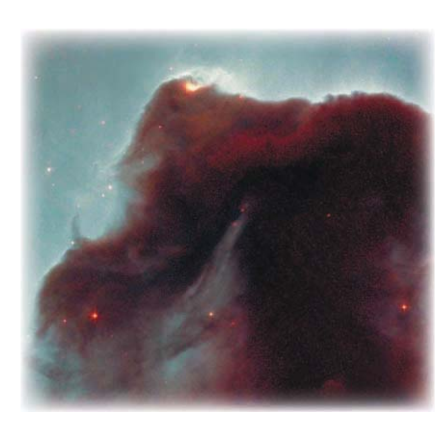
В период долгих зимних ночей небесная сфера поворачивается более чем на 180°. За это время много созвездий проходит над горизонтом. Наиболее красивыми на зимнем небе являются яркие звезды «зимнего шестиугольника» — Капелла (α Возничего), Альдебаран (α Тельца), Ригель (β Ориона), Сириус (α Большого Пса), Процион (α Малого Пса) и Поллукс (β Близнецов). По форме «зимний шестиугольник» напоминает графическое изображение бензольного кольца. В середине «шестиугольника» — красная звезда Бетельгейзе (α Ориона).

## Орион

Орион занимает площадь 594 кв. градусов. В созвездии насчитывается 120 звезд, видимых невооруженным глазом. Пять из них — ярче 2-й звездной величины. Звезды Ориона, прекрасно видимого зимой, похожи на огромный перевязанный посередине сноп. На старинных картах звездного неба Орион изображали как великана-охотника. Вот он стоит с поднятой палицей, отражая нападение разъяренного Тельца. В «плечах» у него горят яркие звезды Бетельгейзе и Беллятрикс. На «поясе» из трех звезд висит меч. В «колене» светится одна из ярчайших звезд неба — Ригель. Ее звездная величина — 0,3$^{m}$. Температура этого бело-голубого гиганта в два раза выше температуры Солнца — 13 000°. Превосходя Солнце по массе в 21 раз, а по радиусу в 80 раз, Ригель по излучению равен 66 тысячам Солнц! Только огромное расстояние, которое свет проходит почти за 1000 лет, скрадывает сияние этой звезды.




Зимние созвездия:
1 — Малый Пес; 2 — Единорог; 3 — Большой Пес; 4 — Орион; 5 — Заяц



Туманность Конская Голова была обнаружена в 1888 г. Этот снимок сделан космическим телескопом «Хаббл»

А вот на трех раскаленных звездах «пояса» Ориона — Минтака (δ), Альнилам (ε) и Альнитак (ζ) температура превышает 25 000°. Вблизи звезды Альнитак видна светлая туманность. Левая сторона ее закрыта обширными темными облаками. Темное облако из-за своих очертаний получило название Конская Голова.

## Большой и Малый Псы

Охотника Ориона сопровождают на небе две собаки — Большой Пес и Малый Пес.

Большой Пес — созвездие, целиком лежащее южнее небесного экватора. В нем 80 звезд, которые можно наблюдать без телескопа. Площадь — около 380 кв. градусов. Сириус (α Большого Пса) — ярчайшая звезда всего неба, имеет отрицательную звездную величину $-1{,}5^m$. Свет Сириуса идет к Земле 8,6 лет.

Малый Пес принадлежит к небольшим созвездиям (площадь 183 кв. градуса) и включает 20 звезд, видимых без телескопа. Главное украшение созвездия — навигационная звезда Процион (α Малого Пса). Ее звездная величина — $0{,}4^m$. Желтоватый Процион — одна из ближайших к нам звезд. Ее свет идет к Земле примерно 11 лет. Светит Процион почти как восемь Солнц.



Рисунки зимних созвездий. Гравюры из атласа Я. Гевелия



В небесных атласах Возничий держит козу и двух козлят. Раньше Коза была отдельным созвездием, но со временем слилась с Возничим

## Возничий

Созвездие Возничий расположено частично в полосе Млечного Пути, занимает 657 кв. градусов и содержит 90 звезд, видимых без телескопа. Главная звезда Возничего — Капелла состоит из двух очень близких друг к другу желтых звезд-гигантов. Одна из них больше Солнца по диаметру в 12 раз, а по массе — в 4 раза; другая — соответственно больше в 7 и 3 раза. Расстояние между центрами звезд почти такое же, как от Земли до Солнца. Однако даже в телескоп увидеть отдельно эти звезды нельзя, так как расстояние до Капеллы — 42 световых года.



**Название яркой звезды Сириус происходит от греческого слова «сейриос» — жгучий, сияющий. От этого слова произошло и название страны Сирии — светлая страна. В Древнем Египте Сириус называли Сотис. Первое появление его в лучах восходящего Солнца совпадало с началом разлива Нила. Римляне называли Сириус Каникула — собачка. От этого латинского слова образовалось понятие «каникулы», поскольку восход Сириуса совпадал с наступлением жары, когда римляне устраивали перерыв от дел, уходили на каникулы.**

## Весеннее звездное небо

После весеннего равноденствия на Земле темная часть суток по продолжительности становится меньше дневной. В начале сезона в западной части неба еще видны звезды «зимнего треугольника» (Бетельгейзе, Сириус, Процион), но вскоре они исчезают. Весной очень быстро меняется картина вечернего неба, не только потому, что Солнце перемещается по эклиптике, но и потому, что оно заходит все позднее и позднее.

Млечный Путь неудобен для наблюдения. Он простирается с востока на запад через северную сторону неба, т. е. занимает самое низкое положение относительно горизонта. Зато в зените, в центре всего неба, раскинулась Большая Медведица. Прекрасно виден не только ковш, но и звезды, образующие фигуру медведя-великана.

Украшением неба становится «весенний треугольник», который образует оранжевый Арктур (α Волопаса), голубоватая Спика (α Девы) и уступающая им в блеске Денебола (β Льва). Левее Волопаса — звездное ожерелье — Северная Корона. Еще левее — Геркулес. Под ними — Змееносец со Змеей, разделенной на «голову» и «хвост». Почти по горизонту от юга к западу вытянулась Гидра. Над цепочкой звезд, образующих кольца этого чудовища, — созвездия Ворон, Чаша и Секстант.

## Волопас

Созвездие Волопас включает около 90 звезд, видимых без телескопа. Среди них Арктур — ярчайшая звезда Северного полушария неба (отсюда, возможно, слово «Арктика»). Его блеск — $0{,}2^m$, ярче его только Сириус и Канопус, но они находятся в Южном полушарии неба. Радиус Арктура в 26 раз больше радиуса Солнца, но температура всего 4200°, поэтому он оранжевого цвета. Расстояние от Арктура до Земли свет проходит за 46 лет.

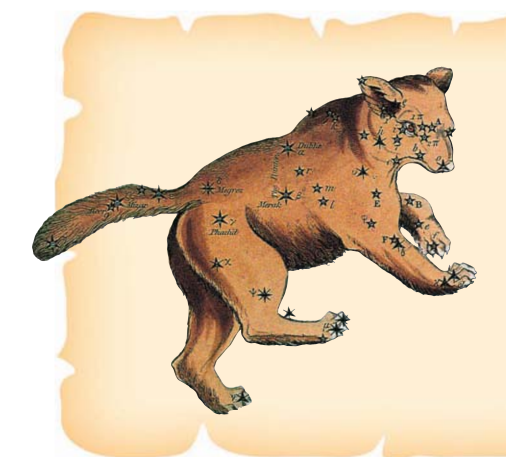
Греческое название созвездия Волопас — Боотес (пастух). Он погоняет семь впряженных в плуг волов — семь звезд созвездия Большая Медведица.




Весенние созвездия: 1 — Северная Корона; 2 — Волопас; 3 — Волосы Вероники; 4 — Лев; 5 — Малый Лев; 6 — Рак; 7 — Гидра; 8 — Секстант; 9 — Чаша; 10 — Ворон; 11 — Дева



Сравнительные размеры Арктура и Солнца. Арктур — одна из немногих звезд, которая может быть видна в любом месте Земли любого материка (кроме Антарктиды)



**Когда греческий ученый Гиппарх в 127 г. до н. э. впервые составил каталог звезд, он указал место звезд в фигуре созвездия Большая Медведица. Позже Птолемей в своем «Альмагесте» («Великое построение») повторил Гиппарха. Вот как семь звезд ковша Большой Медведицы обозначены в «Альмагесте»: «На спине четырехугольника — $\alpha$, та что на боку — $\beta$, ближайшая в хвосте — $\delta$; оставшаяся в левом бедре сзади — $\gamma$; первая в хвосте — $\varepsilon$; средняя — $\xi$; третья, самая последняя, — $\eta$».**

## Северная Корона

Созвездие Северная Корона небольшое — в нем всего 20 звезд. Даже главная звезда — Гемма — имеет блеск $2^m$. Однако это созвездие выделяется среди других тем, что похоже на венец из драгоценных камней. В греческой мифологии Ариадна помогла герою Тесею выйти из лабиринта с помощью нити (нить Ариадны). Впоследствии Ариадна стала супругой бога Диониса и получила от него венец из драгоценных камней. Позже венец был помещен среди звезд и стал созвездием Северная Корона.

В древности это созвездие называлось просто Корона или Венец, пока не появилась Южная Корона. Арабы называли эту группу аль-Факка («разорванное»), имея в виду незамкнутое кольцо созвездия.



Созвездие Геркулес первоначально называлось Коленопреклоненный



Шаровое скопление Геркулеса, известное как М 13, было открыто в 1714 г. В нем несколько сот тысяч звезд

## Геркулес

Геркулес — латинская форма имени греческого героя Геракла, совершившего 12 подвигов. В честь этих подвигов названы такие созвездия, как Дракон, Телец, Рак, Лев, Гидра и Скорпион. По легенде всех этих противников Геракла, любимца Зевса, поместила на небо жена громовержца — богиня Гера.

В созвездии Геркулес, занимающем площадь 1225 кв. градусов, видно около 140 звезд, но ярких среди них нет. Главная звезда Геркулеса, имеющая звездную величину $3^m$, называется Рас Альгети. Внешне звезда неприметна, но на самом деле этот красный гигант по диаметру превышает Солнце примерно в 800 раз. Рас Альгети — двойная звезда, ее желтый спутник совершает оборот вокруг главной звезды за 111 лет. Спутник в свою очередь — спектрально-двойная звезда.

В созвездии Геркулес прекрасно наблюдается шаровое звездное скопление М 13, которое можно увидеть даже невооруженным глазом — между звездами $\eta$ и $\zeta$ Геркулеса.

## Летнее звездное небо

Летняя ночь коротка, поэтому лето — самое неудобное время для наблюдений звездного неба. Однако уже в августе небо темнеет все раньше и раньше. Прекрасно виден Млечный Путь, огромной аркой перекинувшийся через все небо. Главное украшение неба — звезды «летнего треугольника»: Вега (α Лиры), Денеб (α Лебедя) и Альтаир (α Орла). В южной стороне неба видна часть звезд созвездия Стрелец. В Стрельце — самый яркий участок Млечного Пути, там — центр нашей Галактики. Увы, эта часть созвездия в средних широтах поднимается над горизонтом только на несколько градусов. О близкой осени напоминает небесный Лебедь. Раскинув крылья и вытянув шею, он спешит к югу вдоль Млечного Пути.

Летние созвездия: 1 — Лебедь; 2 — Лира; 3 — Геркулес; 4, 6 — Змея; 5 — Змееносец; 7 — Орел; 8 — Дельфин; 9 — Стрела; 10 — Лисичка

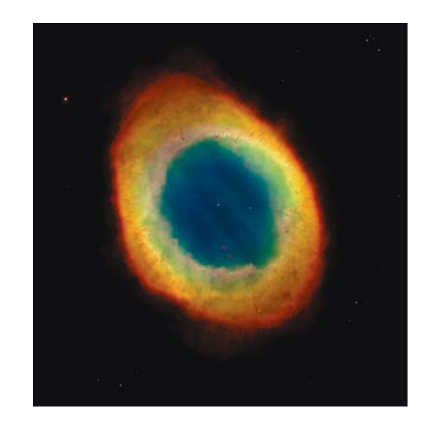



Созвездие Лебедь. Старинный рисунок

## Лебедь

Созвездие Лебедь занимает на небе площадь 804 кв. градуса и включает около 150 звезд, видимых невооруженным глазом. Главные звезды созвездия образуют громадный крест на фоне Млечного Пути. Сверхгигант Денеб по диаметру примерно в 50 раз больше Солнца, а по массе — в 15 раз. Температура Денеба 9800°, а светимость в 15 000 раз больше, чем у Солнца! Блеск Денеба всего $1{,}33^m$, т. к. расстояние до этой звезды — более тысячи световых лет. Звезда Альбирео — красивая двойная звезда с желтым и голубым компонентами. Двойственность ее видна даже в небольшой телескоп.

Созвездие Лебедь расположено в той части Млечного Пути, где начинается его раздвоение. В созвездии много ярких диффузных туманностей. Среди них, левее Денеба, расположены рядом туманности Пеликан и Америка.



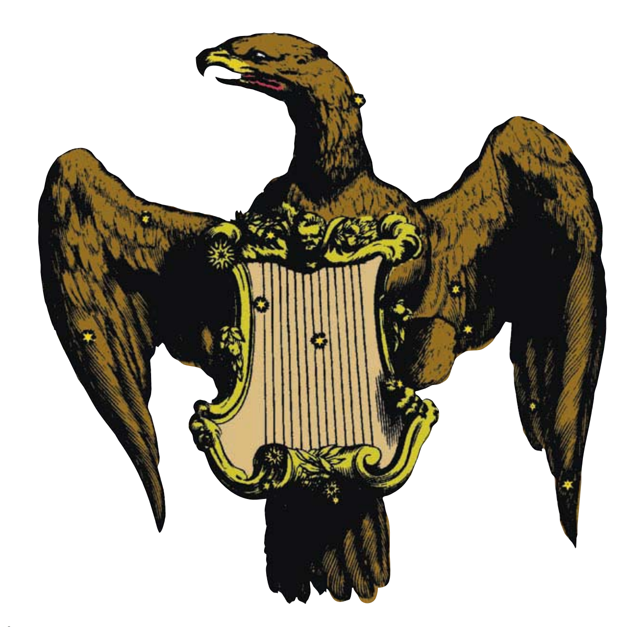
Туманность М 57 (Кольцо) в созвездии Лира — облако газа вокруг умирающей звезды

## Лира

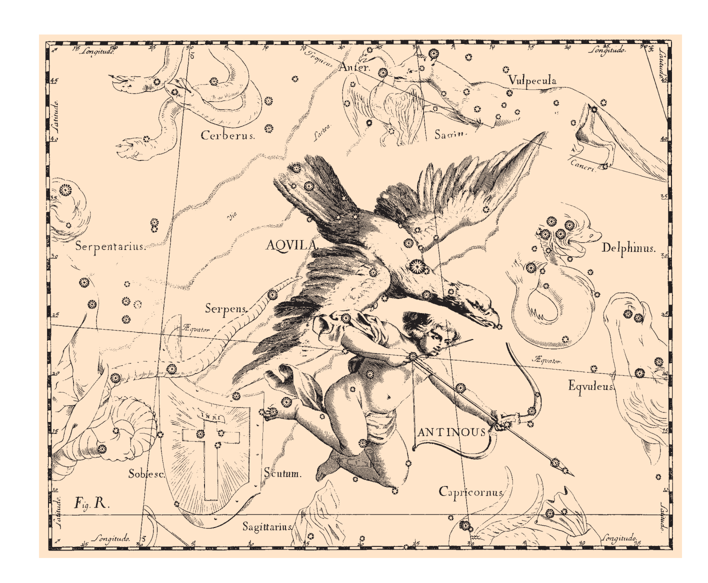
Созвездие Лира небольшое, его площадь 286 кв. градусов. Оно включает 45 звезд, видимых без телескопа. Четыре звезды Лиры образуют фигуру параллелограмма, рядом с которым расположена одна из ярчайших звезд северного неба — Вега, ее блеск $0{,}01^{m}$. По радиусу и массе Вега примерно втрое превосходит Солнце и света посылает в 52 раза больше, но свет этой белой звезды с температурой 10 600° до Земли доходит за 25 лет.

Левее и чуть выше Веги находится двойная звезда — ε Лиры. Человек с острым зрением заметит две слабые и близкие друг к другу звездочки. Они расположены на расстоянии около 3' друг от друга. На самом деле это четвертная звезда, состоящая из двух пар. Расстояние между звездными парами очень мало (4" и 3"), поэтому отдельно их можно увидеть только в очень сильный телескоп.

Достопримечательность Лиры — планетарная туманность М 57 — Кольцо. В телескоп действительно видно овальное колечко вокруг слабой центральной звезды, которая и породила туманность, сбросив свою газовую атмосферу. Туманность расположена между звездами β и γ Лиры.



По-арабски название звезды Вега в созвездии Лира означает «падающий коршун»




Выделенное в атласе Я. Гевелия созвездие Антиной сейчас включено в состав Орла

## Орел

Созвездие Орел на небе занимает 652 кв. градуса, в нем можно увидеть около 70 звезд. Главная звезда — Альтаир, белого цвета, с температурой 8400°. Ее радиус в 1,6 раза больше радиуса Солнца, а по массе она превосходит Солнце в два раза. Расстояние до Альтаира — 17 световых лет. По обе стороны Альтаира находятся звезды Альштайн (β) и Реда (γ). Правая часть созвездия Орел расположена на фоне Млечного Пути.

**Один из таинственных персонажей летнего звездного неба — Змееносец. Древнегреческий ученый Эратосфен видел в Змееносце великого бога врачевания Асклепия. По легенде, Асклепий достиг такого мастерства, что решил воскрешать мертвых. За это разгневанный Зевс поразил его молнией. Звездную фигуру Змееносца пересекает длинная скоба из заметных редких звезд. Это созвездие Змея, которую великан сжимает в своих руках. Сейчас созвездие Змея считается состоящим из двух частей — восточной (голова) и западной (хвост).**

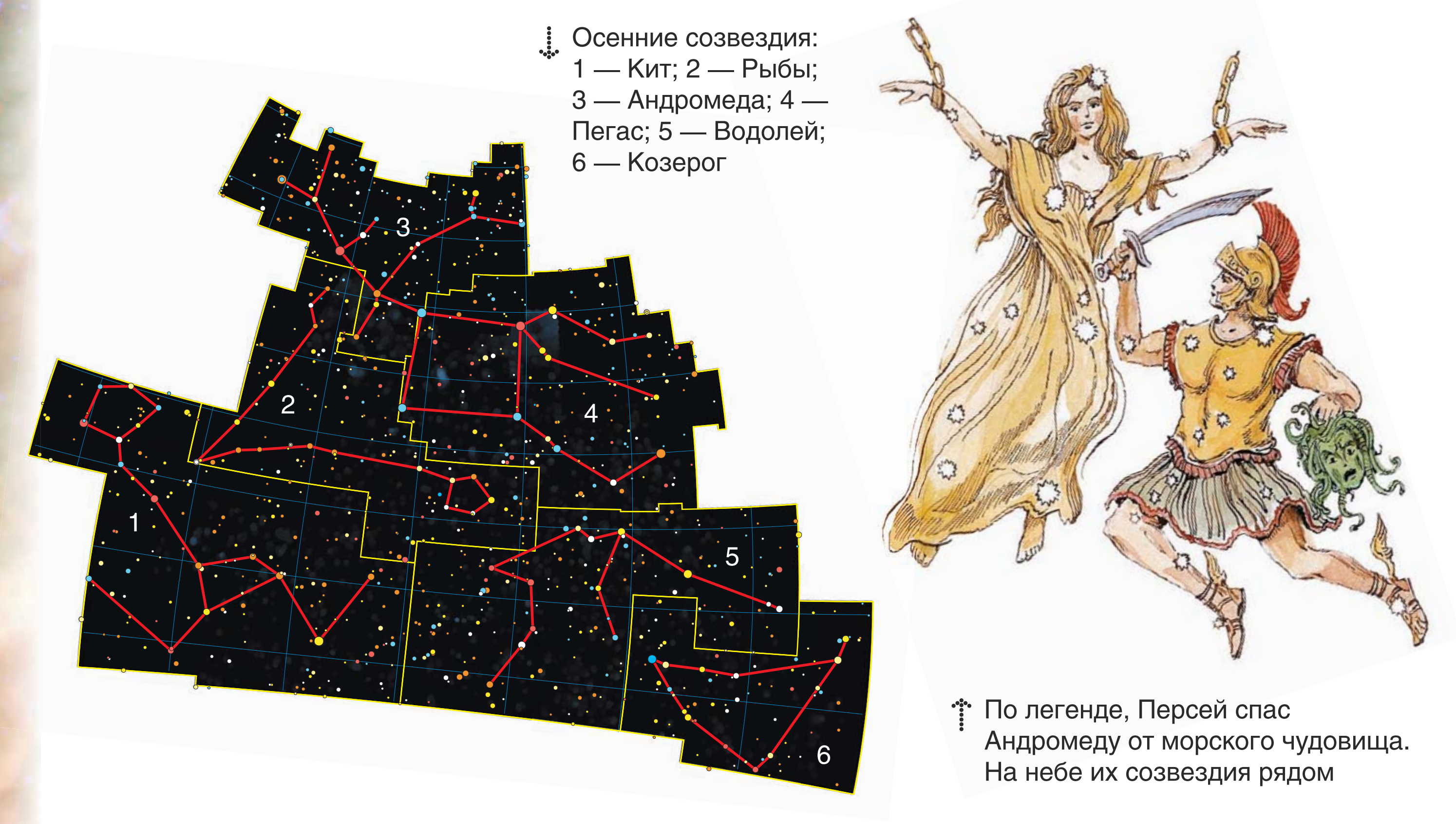
## Осеннее звездное небо

Осенью темнеет все раньше и раньше. После осеннего равноденствия продолжительность ночи стремительно начинает превышать дневную часть суток. Из-за раннего наступления темного времени картина вечернего звездного неба из месяца в месяц почти не меняется. К полуночи «треугольник» из звезд Вега, Денеб и Альтаир переходит в западную часть неба, а к утру частично начинает исчезать за горизонтом. Этот «треугольник» украшает не только летнее небо, но и осеннее, потому его называют «летне-осенним». После полуночи через небесный меридиан по очереди переходят Пегас, за ним цепочка звезд Андромеды, а потом и Персей. Южную сторону неба занимают справа налево Козерог, Рыбы и Овен, южнее их — Кит. Наиболее яркие звезды Пегаса, Андромеды и Персея образуют громадный «осенний ковш», несколько напоминающий ковш Большой Медведицы. Форма этого ковша почти квадратная, он протянулся по небу более чем на 60°.

## Андромеда

Созвездие Андромеда находится между Пегасом и Персеем. Оно занимает площадь 722 кв. градуса, включает около 100 видимых невооруженным глазом звезд. Главные звезды 2-й звездной величины вытянулись цепочкой. Это Альферац, или Сиррах (α), Мирах (β) и Аламак (γ). Хорошо известная красивая двойная звезда Аламак имеет оранжевый и изумрудно-зеленый компоненты. Второй из них — тоже двойная звезда. В телескоп видно, что она делится на зеленую и голубовато-белую звезды.

Главная достопримечательность созвездия Андромеда — находящаяся там туманность М 31. Расположена она к северу от звезды Мирах, рядом со звездой γ. Это единственная галактика нашего неба, которую можно наблюдать невооруженным глазом. Таким образом, можно сказать: самое близкое, что мы видим в космосе невооруженным глазом, — это Луна, а самое далекое — это галактика Андромеды М 31. Свет . Земле от Луны идет 1,28 с, а от М 31 — бо ее 2 млн. лет.




Осенние созвездия: 1 — Кит; 2 — Рыбы; 3 — Андромеда; 4 — Пегас; 5 — Водолей; 6 — Козерог

По легенде, Персей спас Андромеду от морского чудовища. На небе их созвездия рядом

## Кит

Огромное созвездие Кит более чем на 45° простирается вдоль небесного экватора. Основная часть созвездия лежит в Южном полушарии, а небольшая часть его, со звездой Менкар (α), — в Северном. Одна из самых интересных звезд — Мира (Удивительная) (θ Кита). Она то разгорается до звезды 2-й величины и тогда становится самой яркой в созвездии, то меркнет до 10-й величины, и тогда ее можно увидеть лишь в телескоп. Период изменения блеска Миры составляет 332 дня. Других ярких звезд, которые изменяли бы блеск с такой большой амплитудой, нет.

Следует сказать и о звезде τ Кита. Расстояние до нее — всего 12 световых лет. Звезда приближается к Солнцу со скоростью 17 км/с. К этой звезде радиоастрономы проявляют особый интерес, предполагая, что у звезды τ Кита могут быть планеты. А вдруг там есть жизнь?

## Персей

Созвездие Персей имеет площадь 615 кв. градусов и включает 90 звезд ярче 6-й звездной величины. Оно лежит в полосе Млечного Пути, но в сравнительно узкой его части. Самая яркая звезда созвездия — Мирфак (α), блеск $1{,}8^m$. Однако более знаменита Алголь (β). Она относится к группе звезд, известной как Голова Медузы. Древние арабы называли ее «звездой дьявола» — Эль-Гуль. Звезда поразила их непостоянством своего блеска. В Европе переменность блеска Алголя открыл итальянский астроном Мотанари в 1667 г., а только через 100 лет была обнаружена удивительная периодичность этого изменения. Строгая периодичность «подмигивания» глаз Медузы происходит потому, что Алголь — двойная звезда. Когда одна звезда в своем орбитальном движении загораживает другую, уменьшается их суммарный блеск.




Созвездие Персей известно астрономам со II в. Гравюра из атласа Я. Гевелия

**Огромное созвездие Пегас занимает на небе площадь 1121 кв. градус. В нем около 100 звезд, видимых невооруженным глазом. Однако только четыре из них имеют блеск не слабее 3-й звездной величины: Эниф (ε), Маркаб (α), Шеат (β) и Алгениб (γ). Примечательно, что самая яркая звезда в Пегасе не Маркаб, а Эниф. Она удалена от Земли на расстояние около 100 световых лет. Правее и чуть выше звезды Эниф (ε Пегаса) находится большое шаровое звездное скопление М 15 (около 6 млн. звезд), которое расположено от Земли так далеко, что его свет идет к нам почти 30 тыс. лет.**



*Зодиакальные созвездия располагаются на небесной сфере в виде пояса, внутри его лежит эклиптика — круг, по которому происходит видимое годовое движение Солнца. Эти созвездия различны по величине, и каждое из них Солнце проходит за неодинаковое число дней. 12 созвездий (Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог, Водолей, Рыбы) образуют пояс зодиака (греч. «зодиакос» — «животное»), хотя шесть из них к животным не относятся.*



Пояс зодиака. Рисунок из старинной книги

## Рыбы

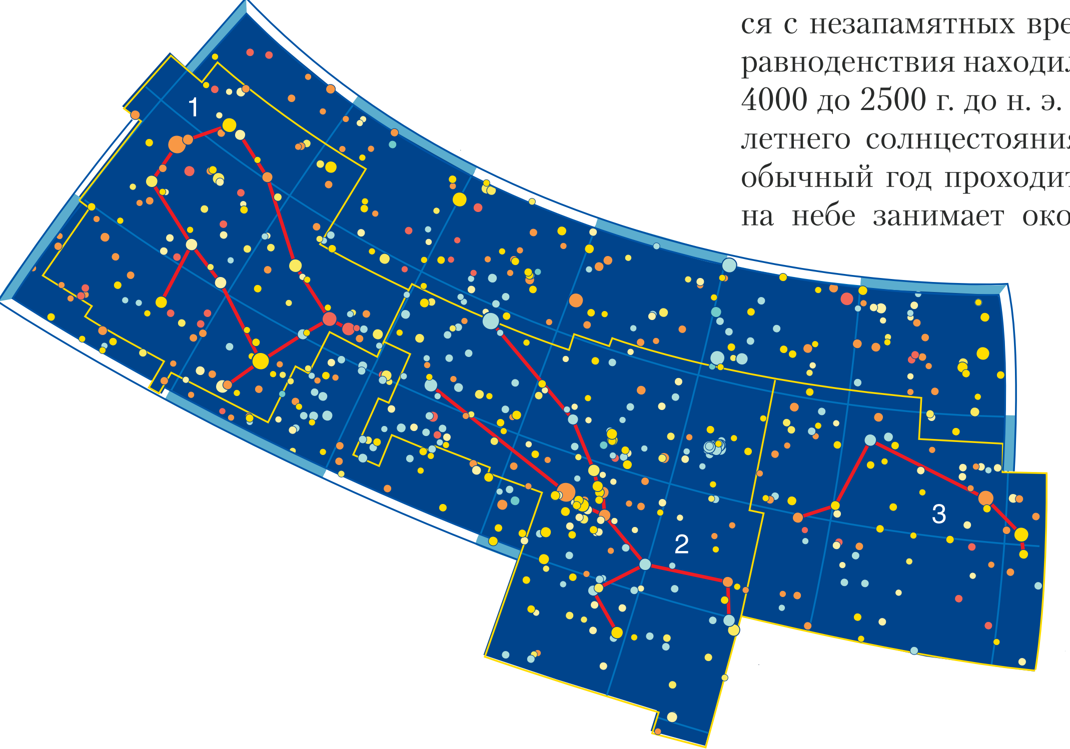
На небе созвездие занимает около 900 кв. градусов. В нем 75 звезд, видимых невооруженным глазом, но ярких нет. Даже главная звезда α имеет всего лишь 4-ю звездную величину. Звезда α Рыб словно связывает узлом две цепочки звезд северной и южной частей созвездия Рыбы. Эта звезда — единственная достопримечательность созвездия. В настоящее время в созвездии Рыбы находится точка весеннего равноденствия. И сейчас счет созвездиям зодиака ведется именно с Рыб. Созвездие почти целиком расположено в Северном полушарии неба. Солнце вступает в него 11 марта.

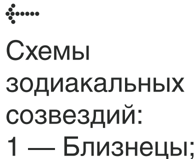
## Овен

Это небольшое созвездие на небе занимает около 440 кв. градусов. Звезд, видимых невооруженным глазом, — около 50. Главная звезда созвездия Гамаль имеет 2-ю звездную величину. Овен был первым знаком зодиака, с появлением в нем Солнца начинался календарный год. В эпоху Цицерона и Юлия Цезаря в этом созвездии находилась точка весеннего равноденствия. В созвездие Овен Солнце вступает 18 апреля. Лучше всего созвездие наблюдать в ноябре, оно кульминирует в полночь.

## Телец

Это зодиакальное созвездие упоминается с незапамятных времен. Точка весеннего равноденствия находилась в нем примерно с 4000 до 2500 г. до н. э. Теперь в нем — точка летнего солнцестояния, которую Солнце в обычный год проходит 22 июня. Созвездие на небе занимает около 800 кв. градусов.



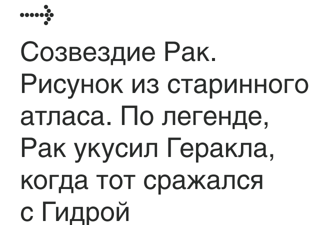



Схемы зодиакальных созвездий:
1 — Близнецы;
2 — Телец;
3 — Овен

В нем около 125 звезд, видимых без телескопа. Самая яркая звезда (блеск $1{,}1^m$), Альдебаран, принадлежит к холодным звездам, температура ее поверхности всего 3500°, поэтому она оранжевого цвета, но света испускает почти в 150 раз больше, чем Солнце. В созвездии Телец находятся два доступных для наблюдения рассеянных звездных скопления — Плеяды и Гиады, а также знаменитая Крабовидная туманность, или Краб. Созвездие Телец видно с сентября по май, кульминирует оно в полночь в начале декабря. Солнце вступает в него 13 мая.

## Близнецы

В Северном полушарии Земли созвездие Близнецы поднимается выше других, т. к. оно удалено от небесного экватора к северу больше, чем другие созвездия Зодиака. Созвездие занимает на небе 514 кв. градусов. В нем около 70 звезд, видимых невооруженным глазом, но две из них — Кастор и Поллукс — наиболее примечательные. Поллукс — одиночная, сравнительно холодная (4200°) оранжевая звезда 1-й звездной величины. Она самая яркая в созвездии, свет ее к нам доходит за 35 лет. Кастор состоит из двух голубых звезд, каждая из которых содержит две пары звезд-близнецов; вокруг них движется еще один спутник — слабая звезда, состоящая из двух близнецов-карликов. Итак, звезда Кастор — это система из трех пар звезд, т. е. шестикратная звезда. Солнце вступает в созвездие Близнецы 21 июня.



Созвездие Рак. Рисунок из старинного атласа. По легенде, Рак укусил Геракла, когда тот сражался с Гидрой

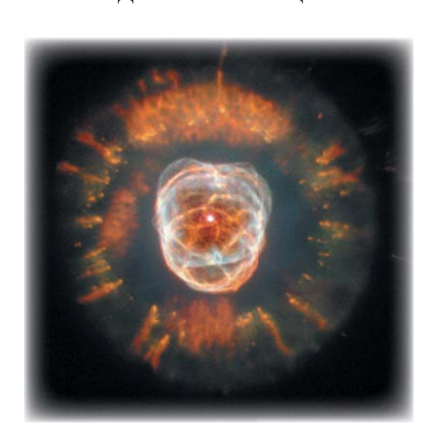


## Рак

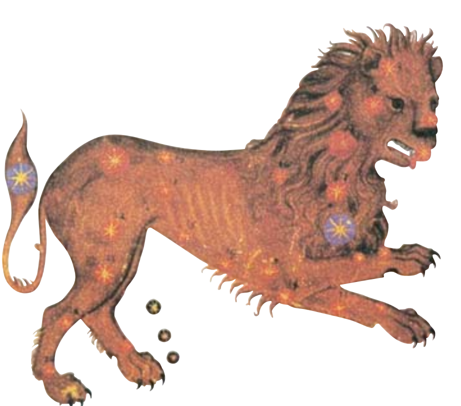
Небольшое созвездие занимает на небе площадь около 500 кв. градусов. В нем около 60 звезд, видимых невооруженным глазом, но ярких совсем нет. Акубенс (α Рака) — это горячая бело-голубая звезда, ее блеск — $4{,}3^m$. Примечательна δ Рака. Эта звезда лежит на эклиптике, поэтому Солнце и Луна, перемещаясь, могут закрывать ее своими дисками. Во II в. до н. э. в созвездии Рак находилась точка летнего солнцестояния, поэтому на географических картах северный тропик долго назывался тропиком Рака. Солнце вступает в созвездие 20 июля. Лучше всего оно видно в январе и феврале почти всю ночь.

## Лев

На небе созвездие занимает площадь 947 кв. градусов, а звезд, видимых невооруженным глазом, в нем не так уж много — около 70. Главной звездой (α Льва) является Сердце Льва, или Регул (блеск $1{,}35^m$, по светимости более чем в 150 раз превышает светимость Солнца, температура 13 200°). В древности у звезды было греческое имя Василиск, что значит «царственный». Солнце вступает в созвездие Лев 10 августа. Созвездие удобнее наблюдать весной.



Планетарная туманность Эскимос в созвездии Близнецы. Снимок телескопа «Хаббл»



Созвездие Лев. Рисунок из старинного атласа. Это лев, убитый Гераклом

## Дева

Созвездие большое, занимает на небе 1290 кв. градусов. В нем 95 звезд, видимых невооруженным глазом. Среди них одна из ярчайших звезд на небосводе — Спика, ее блеск $0{,}97^{m}$. Эта голубоватая звезда с температурой поверхности около 20 000° по массе больше Солнца в 15 раз, а по светимости — в 740 раз. В северной части созвездия Дева сосредоточено огромное количество галактик, подобных Млечному Пути. Галактики доступны наблюдению только в телескопы. В созвездии находится точка осеннего равноденствия, которую Солнце в обычный год проходит 23 сентября, а в само созвездие вступает 16 сентября. Созвездие лучше наблюдать весной, когда оно кульминирует около полуночи.



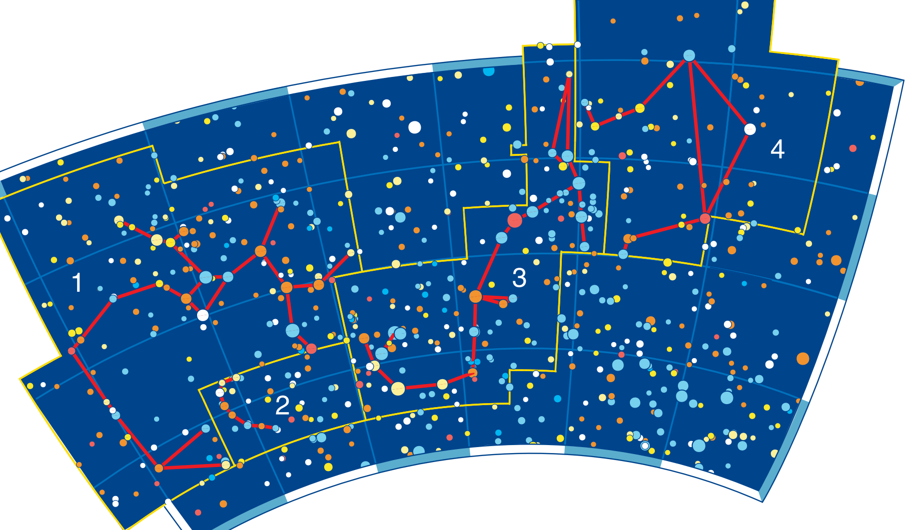
Созвездие Дева в образе богини Деметры. Рисунок XIX в.

## Весы

Созвездие Весы занимает на небе 538 кв. градусов. В нем около 50 звезд, видимых невооруженным глазом. Весы — единственное созвездие зодиака, названное в честь неодушевленного предмета. Созвездие почиталось во времена римского императора Августа, которого изображали на медалях с весами. Солнце вступает в созвездие Весы 30 октября. Созвездие лучше наблюдать в апреле, оно кульминирует около полуночи.

## Скорпион

На небе созвездие Скорпион занимает почти 500 кв. градусов. В нем около 100 звезд, видимых без телескопа. Главная звезда Антарес — α Скорпиона принадлежит к числу звезд-гигантов. Она больше Солнца по диаметру в 750 раз, по массе — в 20 раз, а по светимости — почти в 1000 раз. Однако температура ее поверхности всего 3300°, поэтому на небе звезда сияет красным цветом и напоминает планету Марс. Перемещаясь вблизи эклиптики, Марс действительно иногда близко подходит к звезде. Именно из-за этого древние греки и назвали звезду Антаресом, т. е. соперником Ареса (Марса). Свет Антареса идет к нам около 170 лет. Солнце вступает в созвездие 22 ноября, поэтому наблюдать его лучше в начале лета.




Схемы созвездий:
1 — Стрелец;
2 — Южная Корона;
3 — Скорпион;
4 — Весы




Туманность Лагуна в созвездии Стрелец содержит небольшое звездное скопление

## Стрелец

Созвездие занимает на небе 867 кв. градусов. В нем 115 звезд, видимых невооруженным глазом. На старинных звездных картах созвездие изображалось в виде кентавра, стреляющего из лука. Наиболее характерные звезды образуют лук и стрелу, направленную в Скорпиона. Звезда α Стрельца — Альрами имеет 4-ю звездную величину. В Стрельце около 10 звездных скоплений, шаровых и рассеянных. Кроме того, здесь наблюдаются три яркие и крупные диффузные туманности — Тройная, Лагуна и Омега. В созвездие Стрелец Солнце вступает 17 декабря. В России Стрелец виден только летом, низко над горизонтом в южной части неба, да и то не полностью.

## Козерог

Это небольшое созвездие на небосводе занимает около 40 кв. градусов. В нем примерно 50 звезд, видимых невооруженным глазом. По своим очертаниям созвездие похоже на дельтаплан, направленный острием на Южный полюс мира. Правый угол треугольника дельтаплана составляет двойная звезда α, двойственность которой может различить человек с острым зрением. Эта звезда называется Гиеди (Альгеди). Однако двойственность — оптическая: составляющие ее звезды медленно расходятся в разные стороны. В давние времена, примерно 2 тыс. лет назад, точка зимнего солнцестояния находилась именно в созвездии Козерог.

## Водолей

Это большое южное созвездие занимает на небе 980 кв. градусов. В нем около 90 звезд, видимых без телескопа, но ярких звезд нет. Даже главная звезда α — только 3-й величины. Созвездие изображалось в виде человека, держащего опрокинутый кувшин, из которого вытекает вода. Когда Солнце вступало в это созвездие, в странах Востока после зимних холодов наступала пора весенних дождей, таяния снега в горах и наводнений. По одной из версий Водолей изображает Девкалиона — героя мифа о Всемирном потопе.

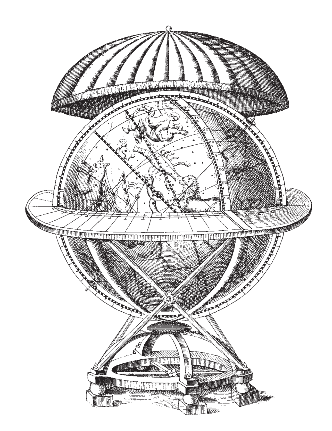
В созвездии Водолей есть два уникальных объекта для наблюдения в телескоп. Планетарная туманность Улитка — самая близкая к Земле и самая большая на небе. Туманность подсвечивается очень горячей звездой с температурой 130 000°. Другой интересный объект — шаровое скопление M 2, которое видно даже в бинокль. Скопление находится севернее звезды β, почти у небесного экватора. В созвездие Водолей Солнце вступает 15 февраля. Лучшее время наблюдения созвездия — осень.



Туманность Улитка в созвездии Водолей, в центре туманности — белый карлик

# Небесные координаты

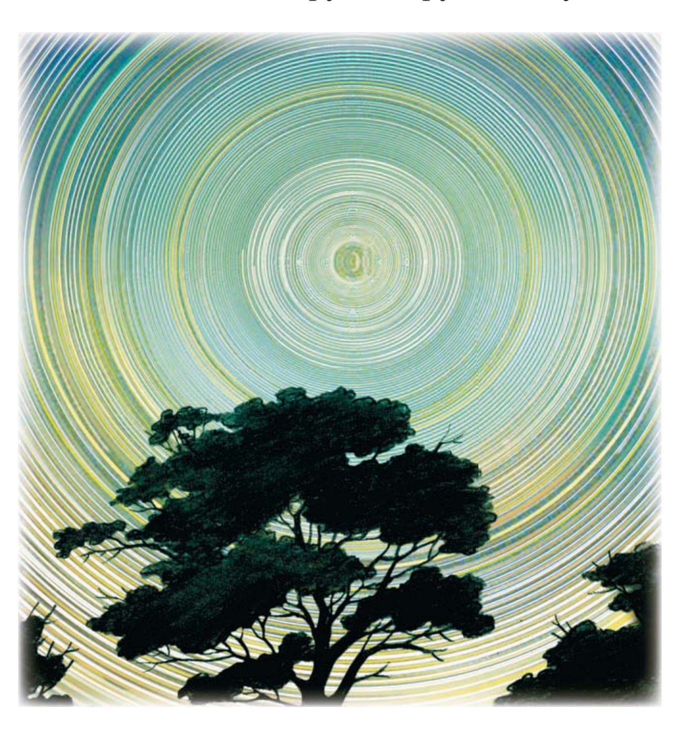
*Небо — это космическое пространство, которое мы видим с земной поверхности сквозь атмосферу. Небо кажется нам огромной полусферой, простирающейся над горизонтом. Все небо усеяно звездами. Для удобства указания местоположения звезд в астрономии введено понятие «небесная сфера». Это сфера произвольного радиуса, в центре которой находится наблюдатель. Проецируя на ее внутреннюю поверхность любые небесные светила, мы получаем некую картину наблюдаемой Вселенной.*



Небесный глобус Тихо Браге. XVI в.

## Главные ориентиры

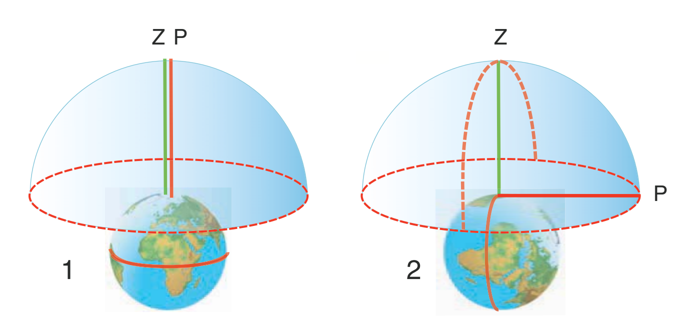
Если в течение нескольких часов фотографировать неподвижной камерой северную часть неба, можно получить снимок, на котором звезды нарисуют светлые концентрические дуги. Общий центр этих дуг называется Северным полюсом мира (P). Наблюдая в течение некоторого времени за звездами вблизи полюса мира, можно заметить, что все звезды вращаются вокруг него против часовой стрелки. При этом отдельные звезды не отстают друг от друга и не уходят вперед. Это кажущееся вращение неба называется суточным. На самом деле оно является отражением действительного вращения Земли вокруг своей оси. Под горизонтом в противоположной точке небесной сферы находится другой полюс мира — Южный ($P_1$). Среди общего движения неподвижными остаются только полюсы. Воображаемая ось, вокруг которой вращается небесная сфера, называется осью мира. Она проходит через наблюдателя и через полюсы мира.



Так выглядят суточные дуги, образованные светилами вокруг Северного полюса мира

Существуют и другие точки, круги и линии небесной сферы. Вертикальная (отвесная) линия, проходящая через центр сферы, пересекает ее в двух точках. Точка, находящаяся над головой наблюдателя, называется точкой зенита (Z), противоположная — точкой надира ($Z_1$). Вертикальный круг, проходящий через вертикальную линию и светило, — это вертикал светила. Плоскость, проходящая через центр сферы перпендикулярно к отвесной линии, — плоскость математического горизонта. Плоскость, проходящая через отвесную линию и ось мира, — плоскость небесного меридиана. Большой круг, образованный пересечением этой плоскости с небесной сферой, есть небесный меридиан (от лат. «меридианус» — «полуденный»). Меридиан проходит через полюсы мира, зенит и надир. Точки его пересечения с горизонтом — это точки юга (Ю) и севера (С). Меридиан делит небесную сферу на два полушария — Восточное и

**Все рассматриваемые системы координат строятся на сфере и поэтому называются сферическими. Чтобы определить положение точки на сфере, всегда достаточно двух координат. Но если требуется описать положение небесных тел в пространстве, то требуется еще одна (третья) координата — расстояние до каждого тела. Такая система координат называется пространственной, или трехмерной.**




Положение зенита и Северного полюса мира для наблюдателя: 1 — на Северном полюсе; 2 — на экваторе

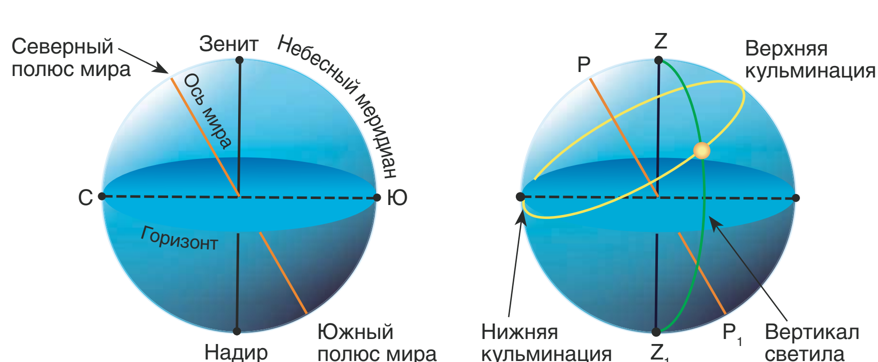
Западное. Вследствие суточного движения в Восточном полушарии светила поднимаются над горизонтом, а в Западном — опускаются. Плоскость небесного экватора, проходя через центр небесной сферы перпендикулярно к оси мира, делит небесную сферу на два полушария — Северное и Южное. С горизонтом небесный экватор пересекается в точках востока (В) и запада (З).

## Системы координат

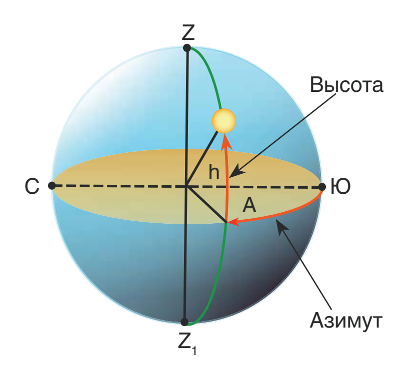
Для определения положения небесных тел могут быть использованы различные системы координат. В астрономии чаще всего применяют четыре системы: горизонтальную, экваториальную, эклиптическую и галактическую, которые отличаются выбором основной плоскости и точки начала отсчета, а объединяет их то, что все координаты задаются только углами (о линейных размерах на небесной сфере говорить бессмысленно).

## Горизонтальная

Горизонтальная система координат самая простая. В ней основным кругом служит математический горизонт, а нуль-пунктом — точка юга (Ю). Координатами светила в этой системе на небесной сфере являются высота ($h$) и азимут (А). Высота светила — это угловое расстояние по вертикальному кругу от горизонта до светила, т. е. угол между горизонтом и самим светилом. Он отсчитывается от 0 до +90° к зениту (Z), если светило над горизонтом, и от 0 до –90° к надиру ($Z_1$), если светило под горизонтом. Азимут светила — это дуга горизонта, т. е. угол от точки юга до пересечения горизонта с вертикалом светила. Астрономический азимут отсчитывается в сторону суточного вращения небесной сферы, с юга на запад, от 0 до 360°. Обе эти координаты ($h$ и А) в результате вращения небесной сферы постоянно изменяются. Эта система координат используется для определения видимых положений светил с помощью угломерных инструментов.




Основные точки и круги, обозначаемые на небесной сфере




Горизонтальная система координат

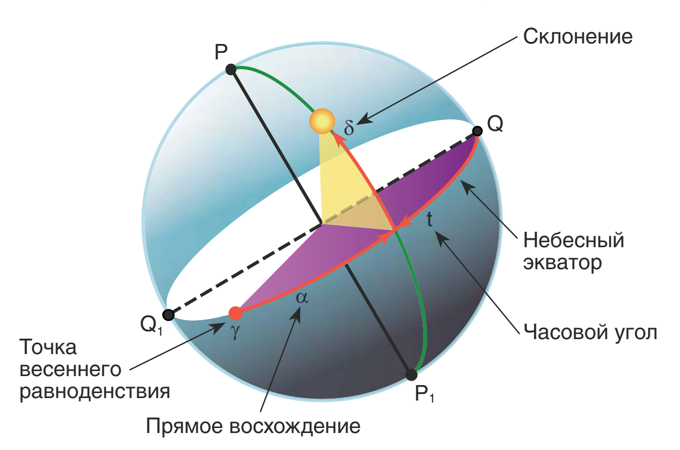
## Экваториальная

Экваториальных систем координат две. Основной круг в этих системах — небесный экватор, а вот нуль-пункт разный: у одной — так называемая точка экватора (Q), а у другой — точка весеннего равноденствия (γ).

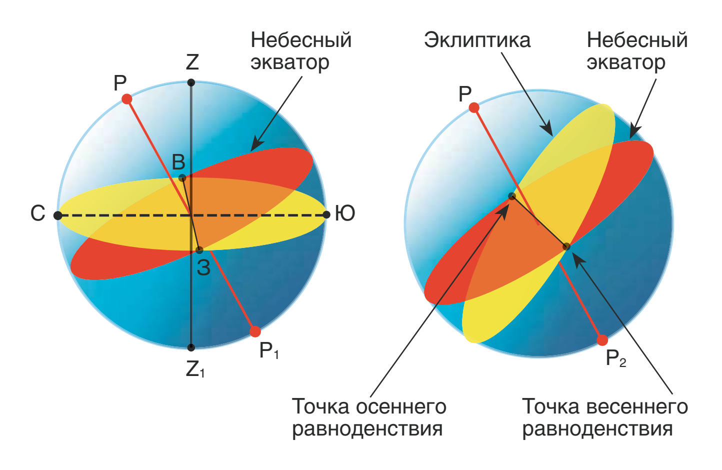
В первой экваториальной системе координат положение светила на небесной сфере определяется склонением (δ) и часовым углом (t). Склонением светила называется угол, отсчитываемый от экватора до светила. По аналогии с горизонтальной системой координат можно сказать, что склонение — это высота светила над небесным экватором. Отсчитывается склонение от 0 до +90° по направлению к Северному полюсу мира (P) и от 0 до −90° — к Южному ($P_1$).

Другая координата — часовой угол (t). Это угол, отсчитываемый вдоль экватора в сторону вращения небесной сферы от верхней точки экватора до точки пересечения экватора с так называемым часовым кругом светила (он проходит через данное светило и полюсы мира). Отметим, что отсчет ведется не в градусах, а в часах. Дуга в 1 ч соответствует 15°, ибо за 1 ч небесная сфера поворачивается на 15°. Соответственно 1 мин равна 15 угловым минутам, а 1 с — 15 угловым секундам.

В этой системе координат из-за суточного вращения небесной сферы склонение светила остается постоянным, а часовой угол изменяется пропорционально времени. Используется она в основном в практической астрономии для наведения телескопа по известным координатам объекта.




Экваториальная система координат




Небесный экватор и эклиптика на небесной сфере

Во второй экваториальной системе координат положение светила на небесной сфере задается склонением (δ) и прямым восхождением (α).

Склонение определяется точно так же, как и в первой системе. Прямое восхождение — это угол, отсчитываемый вдоль небесного экватора от точки весеннего равноденствия до точки пересечения экватора с часовым кругом светила. Координата «прямое восхождение» названа так потому, что отсчет ее ведется в том же направлении, в каком по небесной сфере происходит годичное движение Солнца. В ту же сторону движется и Луна, вращаясь вокруг Земли.

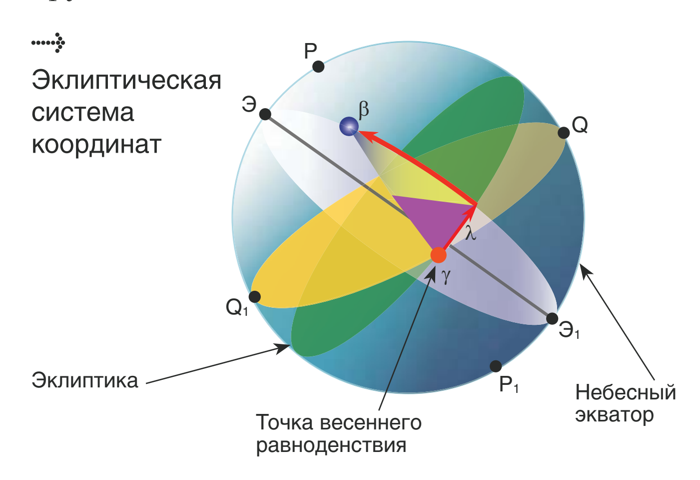
Если говорить о перемещениях планет, то принято считать, что они движутся либо в прямом направлении, когда прямое восхождение со временем возрастает, либо в обратном (попятном), когда оно уменьшается. Прямое восхождение отсчитывается против вращения небесной сферы от 0 до 24 ч. В этой системе координаты светила не зависят от суточного вращения небесной сферы. Эта система координат является основной в астрономии и используется при составлении различных астрономических каталогов и звездных карт.

## Эклиптическая

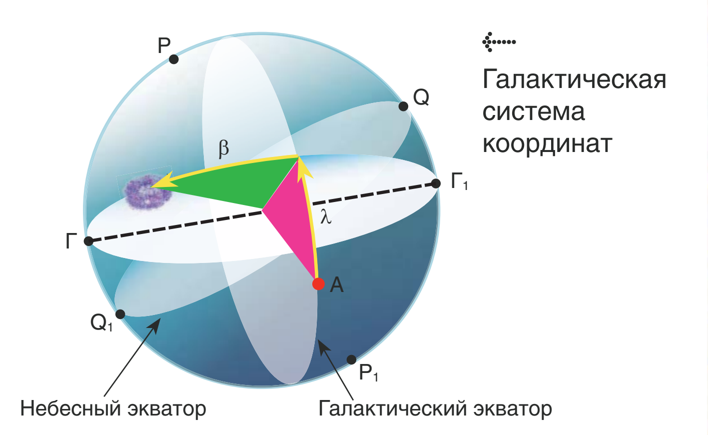
В эклиптической системе координат основным кругом служит эклиптика, а нуль-пунктом — точка весеннего равноденствия. Точки небесной сферы, отстоящие от эклиптики на 90° в обе стороны, называются полюсами эклиптики. Северный полюс эклиптики (Э) лежит в созвездии Дракон примерно посередине между Полярной звездой и Вегой. Южный полюс эклиптики ($Э_1$) находится в созвездии Золотая Рыба, недалеко от Большого Магелланова Облака. Координатами в данной системе координат являются эклиптические широта (β) и долгота (λ).

По аналогии с горизонтальной системой координат можно сказать, что широтой светила называется его высота над эклиптикой. Она отсчитывается от 0 до +90° к Северному полюсу эклиптики и от 0 до −90° — к Южному. Долгота измеряется дугой эклиптики от точки весеннего равноденствия до круга широты светила (он проходит через данное светило и полюсы эклиптики). Она отсчитывается от 0 до 360° в сторону видимого годичного движения Солнца (так же, как и прямое восхождение).

Эта система координат широко применялась в античной астрономии и в Средние века. Именно ее использовал Гиппарх в своем звездном каталоге. Ее удобно применять для определения орбит небесных тел или при изучении движения Земли и планет вокруг Солнца.



Эклиптическая система координат



Галактическая система координат

## Галактическая

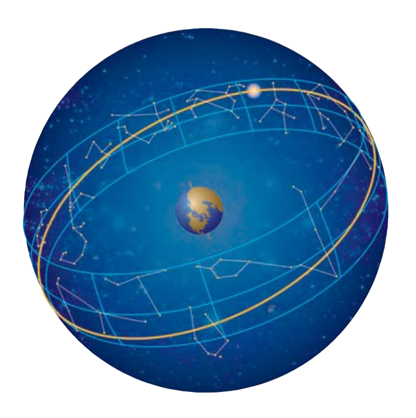
В галактической системе координат основным кругом служит галактический экватор. Он проходит примерно посередине Млечного Пути. Точки небесной сферы, отстоящие от галактического экватора на 90° в обе стороны, — это галактические полюсы. Точка, расположенная в Северном полушарии, — Северный галактический полюс (Г, в созвездии Волосы Вероники). Точка, расположенная в Южном полушарии, — Южный галактический полюс ($Г_1$, в созвездии Скульптор). Координаты светила в этой системе задаются галактической широтой (β) и галактической долготой (λ).

Галактическая широта — это угол от галактического экватора до светила, т. е. высота светила над ним. Отсчитывается в пределах от 0 до +90° к Северному галактическому полюсу и от 0 до −90° — к Южному галактическому полюсу. Галактическая долгота отсчитывается от центра Галактики (А), лежащего в созвездии Стрелец в направлении возрастания прямых восхождений. Она измеряется дугой галактического экватора от центра Галактики до круга галактической широты светила (он проходит через данное светило и полюсы Галактики). Отсчет ведется от 0 до 360°.

Галактическую систему координат применяют в звездной астрономии при изучении нашей Галактики. Галактические координаты привязаны к галактической плоскости и центру Галактики, поэтому они не меняются со временем из-за прецессии.

# Видимое движение Солнца

*На дневном небе самое заметное — Солнце. Мы так привыкли к нему, что не всегда обращаем внимание на его движение по небу. Однако видимый суточный путь Солнца по небу на каждой географической широте места наблюдения выглядит по-своему, причем в течение года картина меняется. Это связано с тем, что Земля движется вокруг Солнца, сохраняя почти неизменным положение оси своего вращения, наклоненной к плоскости орбиты, отчего и происходит смена времен года.*



Пояс эклиптики и пояс зодиака

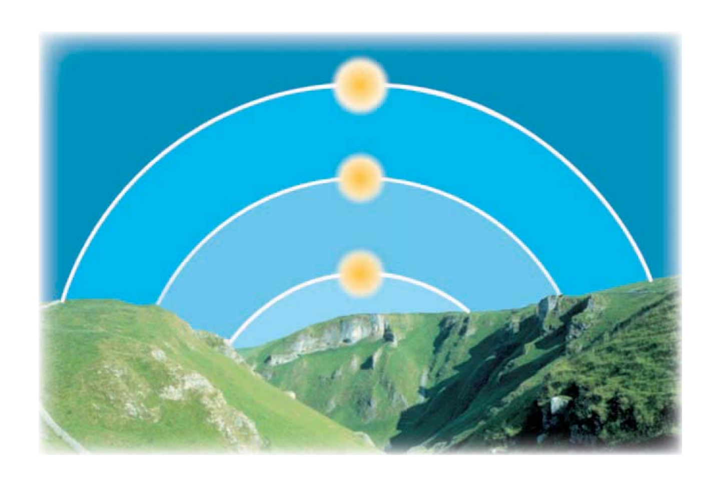
## Суточный путь

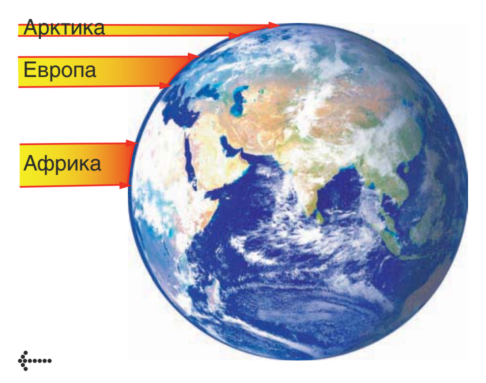
Утром Солнце поднимается из-за горизонта в восточной стороне неба. В наших северных широтах оно движется слева направо, в Южном полушарии Земли — справа налево. В первую половину дня Солнце поднимается над горизонтом, во вторую — опускается. В полдень оно достигает наибольшей высоты, находясь над точкой юга. В этот момент оно пересекает небесный меридиан и, как говорят астрономы, находится в верхней кульминации. В полночь Солнце тоже пересекает небесный меридиан, т. е. находится в нижней кульминации. В средних широтах нижняя кульминация Солнца происходит ниже точки севера, под горизонтом. А вот за Полярным кругом, где Солнце летом иногда не заходит под горизонт, можно наблюдать и верхнюю, и нижнюю кульминации. На географическом полюсе суточный путь Солнца практически параллелен горизонту. Его высота за сутки меняется очень медленно. На земном экваторе Солнце всегда восходит и заходит отвесно относительно горизонта, дневной и ночной его пути равны.

В течение года видимый суточный путь Солнца то сокращается, то увеличивается. Наименьший он в день зимнего солнцестояния (22 декабря), наибольший — в день летнего солнцестояния (22 июня). В дни равноденствий (21 марта и 23 сентября) Солнце находится на небесном экваторе.

**В течение года Солнце медленно (за сутки примерно на 1°) перемещается на фоне звездного неба справа налево. Звезд днем не увидеть из-за солнечного света, зато можно проследить, как в течение года меняется вид ночного звездного неба. Это обусловлено вращением Земли вокруг Солнца. Путь видимого годичного перемещения Солнца на фоне звезд называется эклиптикой. Период одного видимого полного оборота Солнца относительно звезд называется звездным годом. Он равен 365 суткам 6 ч 9 мин 10 с.**

Схема суточного пути Солнца:
1 — на земном экваторе;
2 — в средних широтах






Приходящие от Солнца лучи по-разному нагревают Землю в разных поясах

Смена высоты Солнца над горизонтом: летом — максимальная, зимой — минимальная

## Времена года

От высоты Солнца над горизонтом зависит количество солнечного тепла, попадающего на земную поверхность. Например, утренние косые солнечные лучи слабо согревают ее. Чем выше поднимается Солнце над горизонтом, тем отвеснее падают его лучи, тем сильнее нагревается земная поверхность. Нагрев различных участков земной поверхности определяется и продолжительностью освещения ее солнечными лучами. Чем длиннее день и короче ночь, тем больше тепла получает земная поверхность.

На Земле в течение года происходит смена теплых и холодных сезонов. Это явление природы называется сменой времен года. Оно связано в первую очередь с изменением условий освещения Солнцем земной поверхности из-за наклона земной оси к плоскости земной орбиты.

В дни равноденствий (весеннего и осеннего) оба полушария Земли (Северное и Южное) освещены одинаково. На всей Земле день равен ночи. В летнее солнцестояние Земля повернута к солнечным лучам Северным полушарием. Оно лучше согревается солнечным теплом, день продолжительнее ночи, а за Северным полярным кругом — полярный день. В Северном полушарии — лето, а в Южном полушарии в это время, наоборот, зима. За Южным полярным кругом — полярная ночь. Через полгода все меняется. Теперь в Северном полушарии наступает зима, а в Южном — лето.

Половину эклиптики от весеннего равноденствия до осеннего Солнце проходит за 186 суток, вторую же половину, от осеннего равноденствия до весеннего, — за 179—180 суток. А ведь половинки эклиптики равны: каждая — 180°. Следовательно, Солнце движется по эклиптике неравномерно. Эта неравномерность является следствием изменения скорости движения Земли по эллиптической орбите вокруг Солнца. Все это приводит к разной длительности времен года. Для жителей Северного полушария весна и лето на шесть суток продолжительнее осени и зимы. Земля 2—4 июля расположена от Солнца на 5 млн. км дальше, чем 2—3 января, и движется по орбите медленнее. Летом Земля в целом получает от Солнца не больше тепла, но лето в Северном полушарии немного продолжительнее зимы.

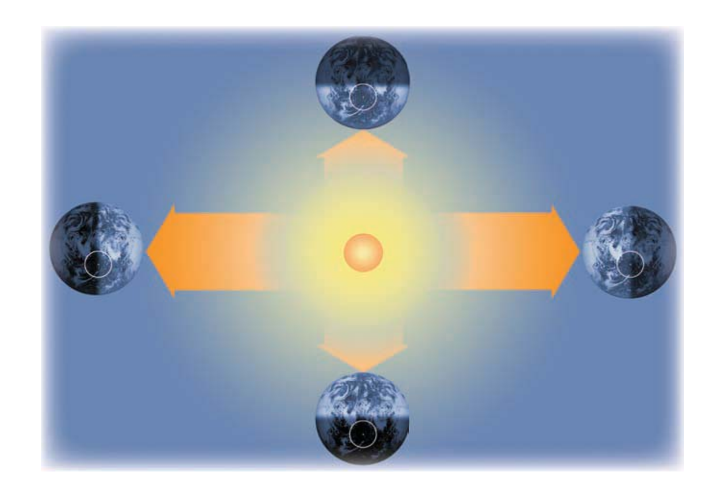


Схема вращения Земли вокруг Солнца (кружком отмечена околополярная область)

# Движение и фазы Луны

*Космическая система Земля — Луна — уникальное явление в Солнечной системе. Вид Луны на небе меняется в течение месяца: это то узкий серп, то половина диска, то полный диск, а иногда спутника Земли не видно совсем. Луна меняет фазы. Это связано с движением Луны вокруг Земли и с условиями освещения Луны Солнцем. Сама Луна не излучает свет, поэтому на небе видна лишь освещенная Солнцем ее поверхность — дневная сторона. Ночная же, темная сторона, не видна.*



Фотография Луны с поверхности Земли

## Лунные фазы

Перемещаясь по небу с запада на восток, Луна за 1 ч сдвигается на фоне звезд примерно на полградуса, т. е. на величину, близкую к ее видимому размеру, а за сутки — на 13°. За месяц Луна на небе догоняет и перегоняет Солнце, при этом происходит смена лунных фаз: новолуние, первая четверть, полнолуние и последняя четверть.

В новолуние Луну не разглядеть даже в телескоп. Она располагается в том же направлении, что и Солнце (только выше или ниже его), и повернута к Земле ночным полушарием. Через два дня, когда Луна удалится от Солнца, узкий серп можно увидеть за несколько минут до ее захода в западной стороне неба на фоне вечерней зари. С этого момента начинается лунный месяц.

Все дальше и дальше влево от Солнца уходит Луна. Серп ее с каждым днем растет, оставаясь выпуклым вправо, к Солнцу. Через 7 суток 10 ч после новолуния наступает фаза, называемая первой четвертью. За это время Луна удалилась от Солнца на 90°. С Земли видна только правая половина лунного диска, освещенная Солнцем. После захода Солнца Луна находится в южной стороне неба и заходит около полуночи. Продолжая перемещаться от Солнца все левее, Луна с вечера оказывается уже на восточной стороне неба. Заходит она после полуночи, с каждым днем все позднее и позднее.

Когда Луна оказывается в стороне, противоположной Солнцу, наступает полнолуние. Полная Луна светит всю ночь. С момента новолуния прошло 14 суток 18 ч. После этого Луна начинает приближаться к Солнцу справа. Все позднее восходит Луна над горизонтом, и к утру уже не заходит. Угловое расстояние между ней и Солнцем уменьшается от 180 до 90°. Опять видна только половина лунного диска, но уже левая его часть. После новолуния прошло 22 дня 3 ч. Наступила последняя четверть. Луна восходит около полуночи и светит в течение всей второй половины ночи, к восходу Солнца оказываясь в южной стороне неба.

Луна приближается к Солнцу, лунный серп становится узким, он повернут вправо и похож на букву «С». Виден пепельный свет на ночной части диска. Наконец, Луна догоняет Солнце и снова становится невидимой. Лунный месяц закончился.







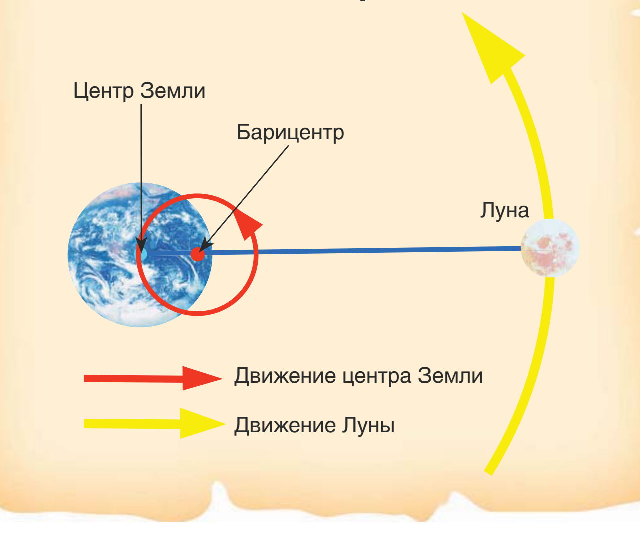


Так выглядят сменяющие друг друга фазы (формы видимой части) Луны



Зависимость фаз Луны от ее положения относительно Земли и Солнца

**Когда мы говорим, что Луна движется вокруг центра Земли, это не совсем точно. Дело в том, что Луна очень большой спутник по сравнению со своей планетой. Луна меньше Земли только в четыре раза по размерам и в 81 раз по массе. Из-за такого соотношения масс центр тяжести Земля—Луна (барицентр) находится примерно на расстоянии 1700 км под земной поверхностью. Луна движется вокруг Земли по эллиптической орбите, поэтому расстояние от Земли до Луны изменяется почти на 50 тыс. км. Среднее расстояние от Земли до Луны принимают равным 384 386 км. Это в десять раз больше длины экватора Земли.**




## Месяцы лунный и звездный

Лунный синодический месяц (от греч. «синодос» — «соединение») связан с видимым на небе расположением Луны относительно Солнца. Это промежуток времени между последовательными одноименными фазами Луны. Он длится 29 дней 12 ч 44 мин 2,8 с, или почти 29,53 суток. Свой путь на небе относительно звезд Луна совершает за 27 суток 7 ч 43 мин 11,5 с (округленно — 27,32 суток). Этот период называется сидерическим (от лат. «сидерис» — «звезда»), или звездным месяцем.

Почему сидерический месяц короче синодического? Рассмотрим движение Луны от новолуния до новолуния. Пока Луна совершит оборот вокруг Земли относительно звезд, пройдет сидерический месяц, т. е. 27,32 суток. За это время Солнце успевает сместиться на восток примерно на 27°. И только когда Луна догонит его, наступит следующее новолуние, а для этого ей потребуется время, равное примерно 2,29 суток.

Путь Луны по небу проходит недалеко от эклиптики, поэтому в полнолуние, находясь в противоположной части эклиптики относительно Солнца, она над горизонтом повторяет суточный путь Солнца, пройденный им за полгода до этого. Зимой полная Луна движется так, как Солнце летом, т. е. поднимается высоко над горизонтом. Летом — наоборот: Луна повторяет зимний путь Солнца.

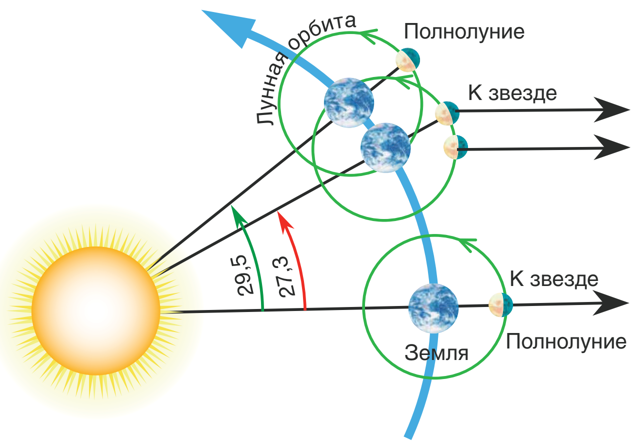



Схема различий между синодическим (29,5) и сидерическим (27,3) месяцами

# Видимое движение планет

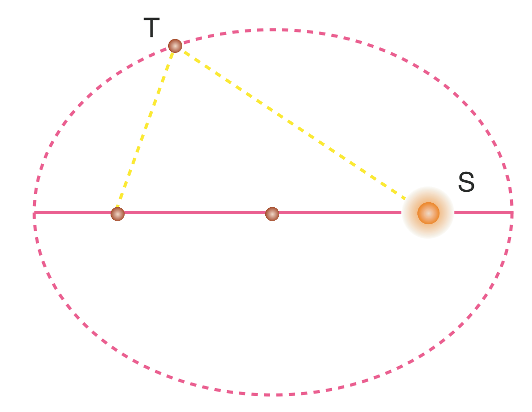
*На фоне неподвижных звезд по небу перемещаются планеты. Они, как и Земля, движутся вокруг Солнца. Сочетание их движения с движением Земли, на которой находится наблюдатель, создает особенности их видимого перемещения. Если взглянуть на небо, не всегда можно найти планеты среди звезд. Во-первых, не обязательно в данное время на небе есть хотя бы одна видимая планета, а во-вторых, чтобы отыскать ее, надо знать, чем планета по виду отличается от звезды.*



Планета Марс. Снимок наземного телескопа

## Скорость движения

Если следить за положениями планет из ночи в ночь, можно заметить, что одни планеты (например, Меркурий и Венера) движутся сравнительно быстро на фоне относительно неподвижных звезд, другие (Марс и Юпитер) — медленно. И едва заметно, как передвигается среди звезд Сатурн. Перемещение планет, которое можно наблюдать на небе на фоне звезд, не что иное, как отражение их движения в пространстве вокруг Солнца. Планеты движутся почти в одной плоскости и все в одну сторону, однако скорости прохождения планет по орбитам разные. Чем дальше планета расположена от Солнца, тем длиннее ее орбита, тем медленнее она движется. Вот почему полный оборот вокруг Солнца Меркурий совершает примерно за три месяца, а Плутону для этого нужно почти 250 лет.




Солнце (S) — не центр, а один из фокусов эллипса, по которому движется планета (T)

## Выписывая петли

Все планеты вокруг Солнца движутся в ту же сторону, что и Земля. Если смотреть со стороны Северного полюса мира, то это движение против часовой стрелки, справа налево. Такое движение называется прямым. Однако перемещение планет на фоне звезд с Земли видится иначе. Меркурий и Венера в орбитальном движении перегоняют Землю, остальные отстают, поэтому с Земли наблюдается как прямое, так и попятное движение планет. Меняя прямое движение на попятное и обратно, планета словно останавливается на фоне звезд. В этом случае говорят о стоянии планеты.

Сочетание прямого и попятного движений создает впечатление, будто планета на фоне звезд описывает петлю. Величина петли зависит от удаленности планеты от Земли: чем дальше планета, тем меньше петля. Для Марса величина попятного движения составляет 15°; для Юпитера — 10°; для Сатурна — 7°; для Урана — 4°; для Нептуна — 3°; для Плутона — 2°. В середине петли планета находится в противостоянии с Солнцем и на ближайшем расстоянии от Земли. Это наилучшее время для наблюдения планеты.

Более близкие к Солнцу планеты Меркурий и Венера тоже описывают петли. Попятное движение у Меркурия — 12°, у Венеры — 16°, но видеть эти петли на небе мешает Солнце, которое как раз оказывается в середине петли.

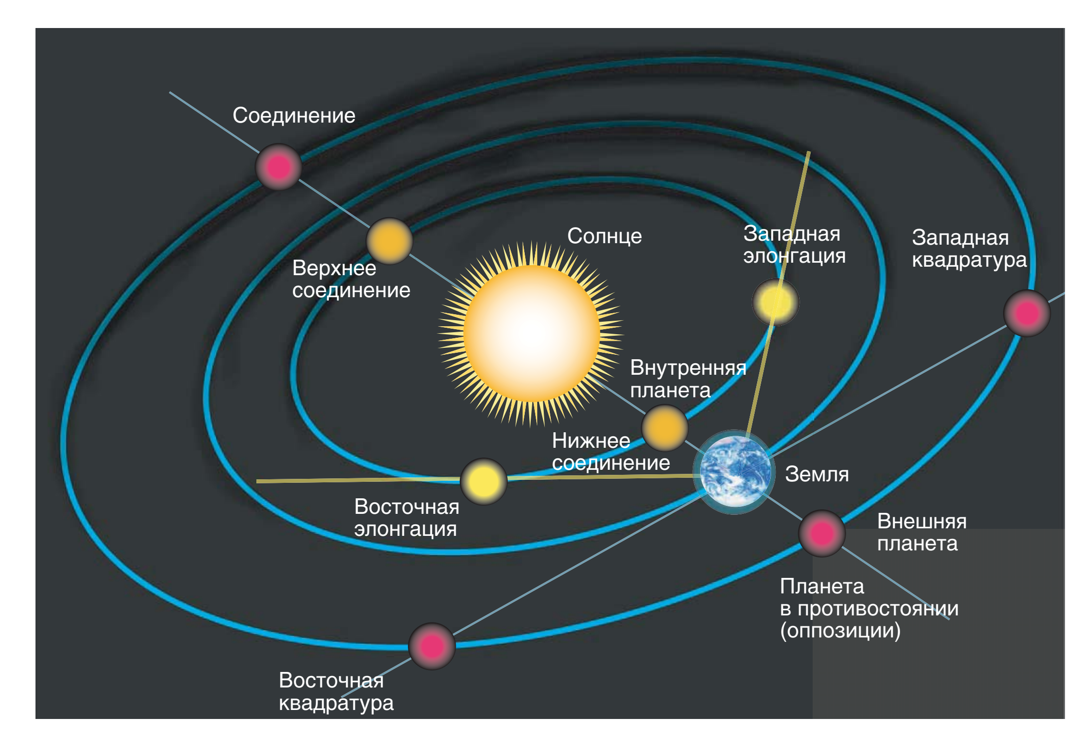
## Время для наблюдений

Видимое положение планеты относительно Солнца называется конфигурацией планеты. Меркурий и Венера, орбиты которых лежат внутри орбиты Земли, называются нижними планетами, остальные — верхними или внешними. Соединение планеты с Солнцем, при котором она движется прямо, называется верхним соединением (планета расположена за Солнцем). Если планета перемещается попятно, то это — нижнее соединение (планета перед Солнцем).

Нижняя планета после верхнего соединения обгоняет Солнце и, перемещаясь прямо, удаляется от него к востоку. Видимое угловое расстояние планеты от Солнца к востоку называется восточной элонгацией (от лат. «элонгацио» — «удаление»), к западу — западной. Наибольшее угловое удаление планеты от Солнца называется наибольшей элонгацией. Наилучшие условия для наблюдения нижней планеты — вблизи наибольших элонгаций, при этом в телескоп видна половина освещенного Солнцем диска планеты. При верхнем и нижнем соединении планета не видна.

Для верхних планет конфигурации другие, за исключением соединения, когда планета находится за Солнцем. Когда же планета оказывается в стороне неба, противоположной Солнцу, говорят о противостоянии планеты. В это время планета появляется над горизонтом в восточной части небосвода, вскоре после захода Солнца. Около полуночи она кульминирует на максимальной высоте. Это наиболее благоприятное время для наблюдения верхней планеты.

**Отличие планет от звезд — их блеск. Все звезды мерцают, а планеты светят ровным, спокойным светом, отраженным от Солнца. Кроме того, каждая планета имеет свой цвет: Меркурий — золотистый, Венера — белый, Марс — красноватый, Юпитер и Сатурн — желтоватый. Венера, Юпитер и во время противостояния Марс настолько ярки, что по блеску им нет равных среди звезд. Ни у одной планеты невооруженным глазом различить диск нельзя. Однако люди с исключительно острым зрением могут заметить несимметричность Венеры.**




Основные взаимные расположения планет — конфигурации

# Солнечные и лунные затмения

*В прошлом затмения Солнца и Луны казались необычайными явлениями и понимались не иначе как «небесные знамения», которые пугали своей неожиданностью, вселяли страх перед окружающим миром. Позже выяснилось, что затмения разделены неравными промежутками времени, но повторяются в том же порядке через 6585 суток. Чаще всего каждый год происходит по четыре затмения: два солнечных и два лунных. Наибольшее возможное количество затмений в календарном году — семь.*

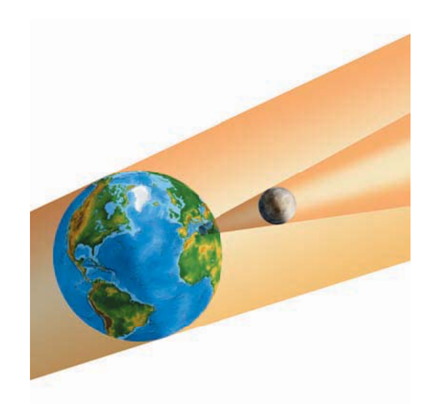


Схема солнечного затмения

## Затмения Солнца

Люди еще в древности заметили, что затмения Солнца бывают только в новолуние, когда Луны на небе не видно. Действительно, в этот момент Луна находится между Солнцем и Землей и закрывает наше дневное светило. Как же Луна, которая в несколько сот раз меньше Солнца, может закрыть его? Но Солнце расположено от Земли приблизительно в 400 раз дальше, чем Луна, а поперечник Солнца приблизительно в 400 раз больше поперечника Луны. Получается, что видимые угловые размеры диаметров Солнца и Луны почти совпадают.

Солнечные затмения бывают частными, полными и кольцеобразными. Когда Солнце, Луна и Земля расположены примерно на одной прямой, тень от Луны падает на Землю. Там, куда она падает, и будет наблюдаться полное солнечное затмение. Оно представляет собой эффектное зрелище: яркий день вдруг сменяется ночью! Начинается затмение с того, что на солнечном диске с правой стороны появляется ущерб, но это пока частное солнечное затмение. Ущерб увеличивается все больше и больше. Луне нужен почти час, чтобы целиком закрыть Солнце. Небо темнеет. Солнце превращается в узкий серпик, но вот исчезает и он. На небе появляются яркие звезды. В том же месте, где до этого находилось Солнце, виден черный круг, окаймленный серебристым сиянием — солнечной короной. Проходит минута, другая. И вот справа от черного диска вспыхивают яркие лучи Солнца. Полное затмение кончилось. Серп Солнца растет, и примерно через час заканчивается и частное затмение.



Полное затмение Солнца россияне видели 1 августа 2008г., следующее полное затмение Россия увидит 12 августа 2026 г.



Кольцеобразное солнечное затмение выглядит очень эффектно: на небе появляется огромное огненное кольцо

Поскольку Земля и Луна движутся по эллиптическим орбитам, видимые с Земли поперечники Солнца меняются. Если в данный период видимый лунный диск меньше солнечного, то Луна не закроет Солнце целиком и на небе появится яркое колечко. Это затмение кольцеобразное.

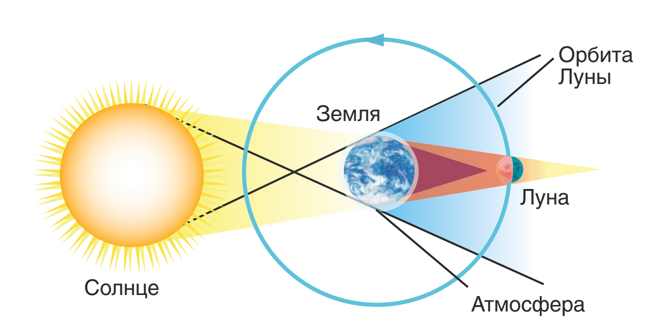




Схема теневого лунного затмения: Луна полностью находится в тени Земли

## Затмения Луны

В отличие от солнечных, лунные затмения бывают только в полнолуние. Когда Луна попадает в земную полутень, наступает полутеневое затмение, а когда она заходит в саму тень — теневое. Различают также частное полутеневое затмение (Луна лишь частично заходит в полутень) и частное теневое затмение (Луна частично покрывается тенью Земли).

Увидеть полутеневое затмение довольно трудно — блеск Луны в этот момент ослабевает мало. Так что, когда говорят о лунном затмении, имеют в виду теневое затмение Луны. Происходит оно так. На небе ярко светит полная Луна, но вот ее левый край темнеет, и она начинает медленно погружаться в темную пелену. Появляются слабые звезды, которые раньше не были видны из-за яркого лунного света. Сама Луна становится тусклой, с красноватым оттенком. Наступает полное лунное затмение (теневое). Через некоторое время левый край Луны начинает постепенно выходить из земной тени, а через час все затмение заканчивается.

## Почему затмения редки?

Так как солнечное затмение бывает в новолуние, а лунное — в полнолуние, то, казалось бы, каждый месяц должны происходить два затмения: одно — солнечное, другое — лунное. Однако это случается значительно реже. Дело в том, что плоскости земной и лунной орбит не совпадают, они расположены под углом 5° друг к другу. Из-за этого во время новолуния Луна, как правило, проходит либо выше, либо ниже Солнца, а во время полнолуния она движется или чуть выше, или чуть ниже тени Земли. И только два раза в год, когда точки пересечения плоскости орбиты Луны с плоскостью орбиты Земли (так называемые узлы лунной орбиты, или лунные узлы) приблизительно оказываются на линии Солнце — Земля, наступает период, когда можно увидеть затмение.

Живя в одном и том же районе Земли, человек за свою жизнь может не увидеть ни одного полного солнечного затмения. Полоски, которые рисует тень Луны на Земле, довольно узкие; пройдя по одному месту, Луна появится здесь же лишь через сотни лет. Лунные затмения случаются реже солнечных, но видны сразу из всех точек Земли, где Луна в это время находится над горизонтом, так что за свою жизнь каждый может увидеть их не один десяток.



**Красный или коричневатый цвет Луны во время затмения объясняется тем, что она и в земной тени освещается солнечными лучами, правда, не прямыми, а преломленными при прохождении сквозь атмосферу нашей планеты. При этом голубые и синие лучи в ней рассеиваются, а красные и оранжевые проходят сквозь нее. Они-то и могут придать Луне багрово-красный цвет. Если бы у Земли не было атмосферы, то во время полного затмения Луна вообще не была бы видна.**

# Измерение времени

*Вопрос «Который час?» можно услышать повсюду: дома, на улице, в школе, на работе. Трудно представить, что будет, если в нашей обычной жизни не пользоваться часами! Еще большее значение точное время имеет в научных исследованиях и работах: при определении координат и составлении карт, при проведении астрономических наблюдений и физических экспериментов, при запуске космических ракет и в космических исследованиях, а также в различных производственных процессах.*



Современные наручные кварцевые часы

## Виды часов

Измерение времени предполагает наличие некоторого процесса, повторяющегося с очень строгой периодичностью. Таким процессом долго считали вращение Земли вокруг своей оси. Период этого вращения назвали сутками, а его доли — часами, минутами и секундами, которые стали основными единицами времени.

В Древнем Вавилоне часами у жрецов служил гномон — вертикальный столб, установленный на площадке с расчерченным циферблатом. Солнце освещало гномон, который отбрасывал тень на площадку. Позже были придуманы более сложные солнечные часы, пригодные для любого времени года. Затем у разных народов появились механические часы с зубчатыми колесами и стрелками на циферблате. Наконец, были созданы часы с маятником. Однако никакие механические часы не идут абсолютно точно. Они либо отстают, либо уходят вперед. Существуют астрономические часы, которые проверяют по моментам прохождения звезд через небесный меридиан. Но Земля вращается неравномерно, зафиксированы вековые, сезонные и скачкообразные изменения угловой скорости ее вращения.

Древнейшие часы:
1 — солнечные;
2 — песочные;
3 — водные

## Местное время

Земной шар можно рассматривать как гигантские солнечные часы. За единицу времени в астрономии принимают время полного оборота Земли вокруг оси или, что то же самое, время видимого вращения небесного свода. Это время называют звездными сутками. Солнечные сутки, которые определяются как промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями центра солнечного диска, продолжительнее звездных на 3 мин 56 с, т. е. почти на 4 мин. Разница обусловлена годичным движением Солнца по эклиптике. За сутки Солнце перемещается среди звезд в направлении, обратном видимому суточному вращению небесной сферы (с запада на восток) примерно на два диаметра своего диска, т. е. на 1°. Значит, чтобы Солнце оказалось на меридиане, небесной сфере нужно еще повернуться на 1°, на это уходит около 4 мин. Положение Солнца относительно небесного






Достижения эпох: механические часы с маятником и электронные часы с радио и будильником



Географические меридианы делят Землю на часовые пояса со своим местным временем

меридиана, т. е. его часовой угол, определяет для данного пункта Земли местное солнечное время. Если на каком-то географическом меридиане Солнце находится в верхней кульминации, то там полдень. На меридиане, лежащем на 15° восточнее, — уже 13 ч. Еще дальше к востоку на 30—45° время будет соответственно 14—15 ч и т. д. Наоборот, на меридианах, лежащих к западу на 15, 30, 45°, будет соответственно 11, 10, 9 ч и т. д.

Все населенные пункты, лежащие на одном и том же меридиане, имеют одинаковое местное время. Чем больше разница их долгот, тем больше разница во времени. Например, когда в Москве 12 ч, то в Нижнем Новгороде на 26 мин больше, а в Смоленске на 22 мин меньше. Сам город Москва протянулся с запада на восток более чем на 30 км. Разница между местным временем западной и восточной окраин города составляет 114 с. Например, если на Красной площади ровно 12 ч, то в Измайлове на 50 с больше, а в Кунцеве — на 50 с меньше.

**В XX в. был открыт такой стабильный колебательный процесс, как колебания атома в отдельной молекуле. Этот процесс используется сейчас в самых точных часах — атомных. Точность атомных часов такова, что они могут отстать не более чем на 1 с за 500 тыс. лет. По атомным часам точность определения времени в миллион раз выше, чем по вращению Земли. По этим часам корректируется продолжительность многих астрономических процессов.**

## Часовые пояса

Пользоваться точным местным временем в повседневной жизни неудобно, поэтому в 1884 г. была предложена поясная система счета времени, при которой счет ведется по показаниям только 24 основных географических меридианов, отстоящих друг от друга по долготе на 15°, т. е. на 1 ч. Эти меридианы проходят приблизительно посередине каждого часового пояса. За основной меридиан нулевого пояса принят Гринвичский, от которого отсчитываются и географические долготы. Время нулевого часового полюса называют всемирным временем. Большинство стран Европы относятся к 1-му часовому поясу. По этому среднеевропейскому времени живет также Калининградская область. По остальной территории России проходят 11 часовых поясов (со 2-го по 12-й). Границы поясов условно соответствуют государственным, административным и иным рубежам, отступая от соответствующего меридиана в ту или другую сторону.

# Календарь

*Для исчисления больших промежутков времени необходим календарь. Существуют три основных вида календарей — солнечный, лунный, лунно-солнечный. Более распространен солнечный календарь, связанный со сменой времен года — основой хозяйственной деятельности человека. Однако периоды изменений положения Солнца и Луны (год и месяц) не содержат целого числа солнечных суток, что вынуждает создавать искусственные календарные системы, более пригодные для использования.*




Лист современного отрывного календаря

## Виды календарей

Большинство стран сейчас ориентируется по солнечному календарю. Лунный календарь сохранился у некоторых народов, исповедующих ислам. Лунно-солнечный календарь применяется у евреев, для исчисления сроков религиозных праздников. Народы Восточной и Юго-Восточной Азии создали так называемый циклический календарь. В его основе — полный оборот Юпитера по небесной сфере за 12 лет (точнее, 11,862), а также лунный месяц. Каждый год носит название животного: 1-й — мышь (крыса); 2-й — корова (бык); 3-й — тигр; 4-й — заяц (кролик); 5-й — дракон; 6-й — змея; 7-й — лошадь; 8-й — овца (баран); 9-й — обезьяна; 10-й — курица (петух); 11-й — собака; 12-й — свинья (кабан).

Летоисчисление календаря берет отсчет от какого-либо мифологического или исторического события. Начало летоисчисления в христианской эре (по церковным документам — с 724 г. н. э.) условно отнесено к рождению Иисуса Христа. Мусульманская эра называется «хиджра» и берет отсчет с момента переселения пророка Мухаммеда и его приверженцев из Мекки в Медину в сентябре 622 г. н. э.



Древний китайский календарь с названиями месяцев и их символикой



Солнечный календарь индейского племени ацтеков отличался высокой точностью

## Юлианский

У истоков календаря, которым мы пользуемся сейчас, лежит римский календарь. За 700 лет до н. э. в римском календаре было 10 месяцев — мартиус (первый месяц в году), априлис, майюс, июниус, квинтилис, секстилис, септембер, октобер, новембер и децембер. Март, май, июль и октябрь имели по 31 дню, остальные — по 30 дней. В календарном году было 304 дня. Во времена царя Нумы Помпилия (650 г. до н. э.) в календарь добавили два месяца — одиннадцатый и двенадцатый (январь и февраль). Римляне четное число считали несчастливым, поэтому к календарному году прибавили 51 день и перетасовали количество дней в остальных месяцах. В них стало либо 29, либо 31 день. В году стало 355 дней. Начало каждого месяца определяли по новолунию.

В 45 г. до н. э. Юлий Цезарь ввел календарь, получивший название юлианского (ныне это календарь старого стиля). К прежнему календарю добавили 10 дней, которые отдали коротким месяцам. Первым месяцем стал януариус. Нечетные месяцы состояли из 31 дня, четные — из 30. Только februариус имел 28—29 дней. Средняя продолжительность года юлианского календаря — 365 дней и $^1/_4$ дня, что очень близко к продолжительности тропического года. Чтобы год содержал целое число дней, условились в течение трех лет считать в каждом году по 365 дней, а в четвертом — високосном — 366. Семидневная неделя пришла в юлианский календарь с христианством. Решение о нерабочем воскресенье принял римский император Константин в 321 г.



Страницы средневекового календаря с красочными миниатюрами

**Самое трудное в календаре — согласовать продолжительность года и месяца с сутками. Продолжительность обращения Земли вокруг Солнца (точнее, промежуток времени между прохождением центра Солнца через точку весеннего равноденствия) называется тропическим годом. Он составляет 365 суток 5 ч 48 мин 46,1 с, т. е. 365,242199... суток, поэтому измерять продолжительность года в сутках можно только приближенно. Луна полностью меняет свои фазы за 29 суток 12 ч 44 мин 2,8 с, т. е. за 29,530588... суток. Эти «небесные дроби» осложняют календарный счет времени.**

## Григорианский

Итальянский ученый Лилио (Джильо) разработал календарь, уменьшив на три число високосных лет за 400 лет. Високосным он предложил считать лишь те вековые года, число столетий которых делится на 4 без остатка. Римский папа Григорий XIII ввел этот новый календарь (отсюда и название — григорианский), отбросив лишние 10 дней. Итак, в 1582 г. после четверга 4 октября пятница уже была 15 октября, а весеннее равноденствие вновь пришлось на 21 марта. Средняя продолжительность года в таком календаре настолько близка к тропическому, что ошибка календаря в одни сутки накапливается лишь за 3300 лет. В XX в. разница между календарями старого и нового стилей стала равна 13 суткам, а с 2100 г. разница станет равна 14 суткам.

# Любительская астрономия

*Астрономия увлекает миллионы людей возможностью познавать Вселенную, самостоятельно наблюдая многие космические объекты и явления. В ясную ночь можно увидеть полярные шапки на Марсе или далекие звездные скопления, лунные кратеры или россыпь звезд Млечного Пути. Небо завораживает, притягивает таинственностью и недосягаемостью. Интересно научиться разбираться в звездном узоре, увидеть в бинокль или небольшой телескоп то, что скрыто от невооруженного глаза.*



Так выглядит Солнце через специальный телескоп

## Первые объекты для наблюдения

Начать самостоятельные наблюдения небесных объектов лучше всего с самого близкого к нам тела — Луны. Обширные моря, высокие горы, многочисленные кратеры, долины и «лучи» видны на ее поверхности даже в небольшой телескоп. Наблюдения Луны не могут наскучить, ведь из-за быстрого движения нашего спутника взаимное положение Солнца, Луны и Земли постоянно меняется, и каждый день Луна выглядит по-другому. Во время полнолуний Луна иногда попадает в тень Земли, и тогда происходит лунное затмение.



Современный любительский телескоп позволяет рассматривать и фотографировать самые разные небесные объекты

Другим интересным объектом, привлекающим внимание, является ближайшая к нам звезда и центр Солнечной системы — Солнце. Следует сразу отметить, что наблюдать его нужно с особой осторожностью: необходимо использовать темные плотные фильтры, ослабляющие свет, или же проецировать изображение Солнца на белый экран. Самые заметные образования на диске Солнца, хорошо видимые даже в небольшой телескоп, — это пятна, в структуре которых различимы тень и полутень. Наблюдения полных и частных солнечных затмений не пропускает ни один любитель астрономии.



**Кометы — впечатляющие объекты для наблюдений, однако в течение года можно стать свидетелем полета всего нескольких слабых комет, видимых в небольшой любительский телескоп. Массивные яркие кометы, заметные невооруженным глазом, появляются на небосклоне только раз в 5—15 лет. Продолжительность наблюдения ярких комет составляет несколько недель или месяцев, и уже в течение ночи видно заметное смещение «хвостатой звезды» относительно фона звездного неба. Многие кометы открыты любителями и носят их имена.**

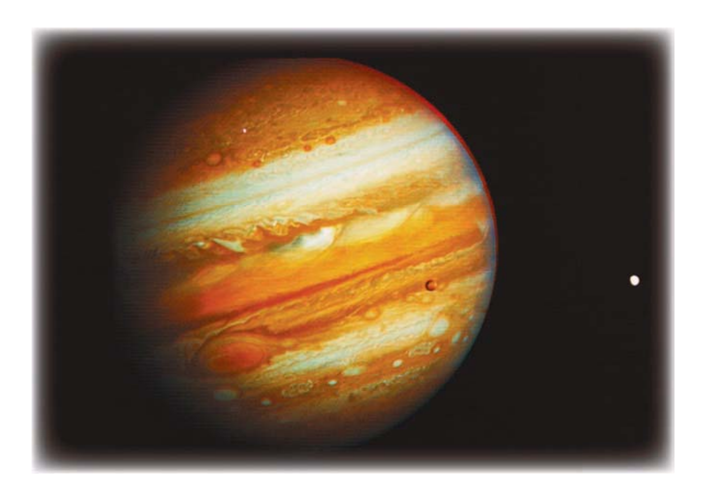
## Планеты

Наличие даже небольшого телескопа позволяет перейти от наблюдения за движением планет Солнечной системы к процессу их изучения. Меркурий из-за его малых размеров и близости к Солнцу любители астрономии могут наблюдать довольно редко. Венера представляет гораздо больший интерес: планета очень яркая, ее легко найти на небе и проследить за изменением фаз по мере ее обращения вокруг Солнца. На Венере можно рассмотреть облачные образования. Время от времени облачный покров вызывает появление светящихся «рожек», выходящих за пределы серпа планеты в полярных областях. Орбиты Меркурия и Венеры лежат внутри орбиты Земли, поэтому иногда в своем видимом движении они проходят по диску Солнца.

Регулярно наблюдая Марс, можно отслеживать сезонные изменения размеров его полярных шапок: время от времени от основного массива отделяются и постепенно тают отдельные фрагменты. Некоторым удается разглядеть знаменитые «каналы» на поверхности Марса. Вид Юпитера в телескоп производит сильное впечатление на наблюдателей. Многообразные детали на диске планеты обусловлены облачными образованиями в верхних слоях атмосферы Юпитера. Детали постоянно изменяются и перемещаются. В обычный бинокль или даже невооруженным глазом рядом с Юпитером заметны его четыре самых больших спутника — Ио, Европа, Каллисто и Ганимед. Сатурн со своей системой колец виден даже в сильный бинокль. Вид колец изменяется в зависимости от положения Сатурна при его обращении по орбите. Примерно раз в 15 лет кольца «пропадают» — они видны с ребра.



Луна — идеальный объект для астрономических фотографий и зарисовок



Вид Юпитера в телескоп. Яркая точка справа — один из спутников этой планеты

## Метеоры

Метеоры обычно наблюдают небольшой группой, поскольку один человек не в состоянии следить за всем небом сразу. Научную ценность представляет определение числа метеоров, замеченных в течение часа, так называемые часовые числа. Нанеся пути метеоров на карту звездного неба и продлив их назад, нетрудно самостоятельно обнаружить радиант метеорного потока (*см.* Метеоры).

Каждую ясную ночь на небе можно заметить в среднем по 5—10 метеоров в час. Особенно красивы ежегодные августовские потоки Персеиды, когда в темные ночи можно насчитать до 120 метеоров в час, т. е. «падающие звезды» рассекают небосвод в среднем каждые 30 с. Еще более впечатляют метеорные дожди, когда число метеоров достигает нескольких десятков тысяч в час, — такое случается раз в несколько десятилетий и может стать самым ярким впечатлением в жизни астронома-любителя.

## Место для наблюдений

Чтобы начать наблюдения звездного неба, постарайтесь найти небольшую площадку вдали от освещенных окон и уличных фонарей. Еще лучше проводить наблюдения за городом, где небо не подсвечивается яркими огнями. Если такой возможности нет, то от искусственного света можно укрыться за стеной здания. Перед началом наблюдений желательно провести некоторое время в темном месте, чтобы глаза привыкли к темноте. Для подсветки звездных карт или справочной литературы пользуйтесь фонариком с плотным красным светофильтром — при таком освещении глаза не потеряют своей чувствительности.



Ночное уличное освещение создает яркие блики, мешающие наблюдению за небом

## Выбор приборов

Обзорные наблюдения звезд и созвездий можно проводить невооруженным глазом. Однако гораздо интереснее исследовать небо с помощью бинокля. В темную ночь в хороший призменный бинокль или бинокуляр, укрепленный на штативе, можно увидеть до полумиллиона звезд и около 100 туманных объектов далекого космоса. Бинокль создает, в отличие от телескопа, прямое, а не перевернутое изображение, кроме того, он имеет широкое поле зрения, которое незаменимо при наблюдениях комет, звездных скоплений или Млечного Пути. Для астрономических целей наиболее подходят бинокли с диаметром объектива 40—50 мм и увеличением в 5—8 раз. Более крупные бинокли трудно долго держать в руках, поэтому их приходится жестко закреплять с помощью специальных приспособлений.



Новейшие модели телескопов, несмотря на сложность устройства, компьютеризированы и просты в управлении

Для проведения полноценных исследований потребуется телескоп. Наиболее популярные телескопы среди любителей астрономии — телескопы системы Ньютона (*см.* Как исследуют Вселенную?), что обусловлено простотой их изготовления и невысокой ценой. При приобретении телескопа следует выбирать инструмент с диаметром объектива не менее 80 мм. Желательно также, чтобы телескоп имел экваториальную установку, поскольку она позволяет следить за небесным объектом путем простого поворота вокруг всего одной оси, что удобно как при наблюдениях глазом, так и при фотографировании звездного неба.

Огромную роль играет надежная установка телескопа, ведь даже незначительные вибрации искажают изображение, делают его размытым, нечетким.

## Фотографирование

Сделать фотографию звездного неба не так трудно, как кажется с первого взгляда. Для съемок можно использовать обычные зеркальные фотоаппараты, к которым необходимо прикрепить спусковой тросик для того, чтобы камера не дрожала при спуске затвора. Автоматические фотокамеры, так называемые «мыльницы», для фотографирования неба не подходят, поскольку они не позволяют открыть затвор на длительное время, а при низкой освещенности используют вспышку. Что касается выбора фотоматериалов, то для астрофотографии подходят пленки с чувствительностью 400 единиц, отличающиеся небольшой зернистостью (она снижает резкость) и позволяющие фотографировать слабые небесные объекты.

Чтобы сделать снимок участка звездного неба или, в частности, созвездия, достаточно закрепить аппарат на устойчивом штативе или на телескопе и открыть на 10—30 с затвор. При больших экспозициях изображения звезд начнут заметно вытягиваться в отрезки дуг из-за суточного вращения небесной сферы. С использованием гидирования через телескоп (т. е. контролируя наведение телескопа во время экспозиции) можно делать фотографии с гораздо большей выдержкой, что позволит получить изображения далеких туманностей и галактик. Нередко телескопы допускают фотографирование в прямом фокусе или через окуляр, при этом для соединения фотоаппарата и окулярного узла применяется специальный переходник.



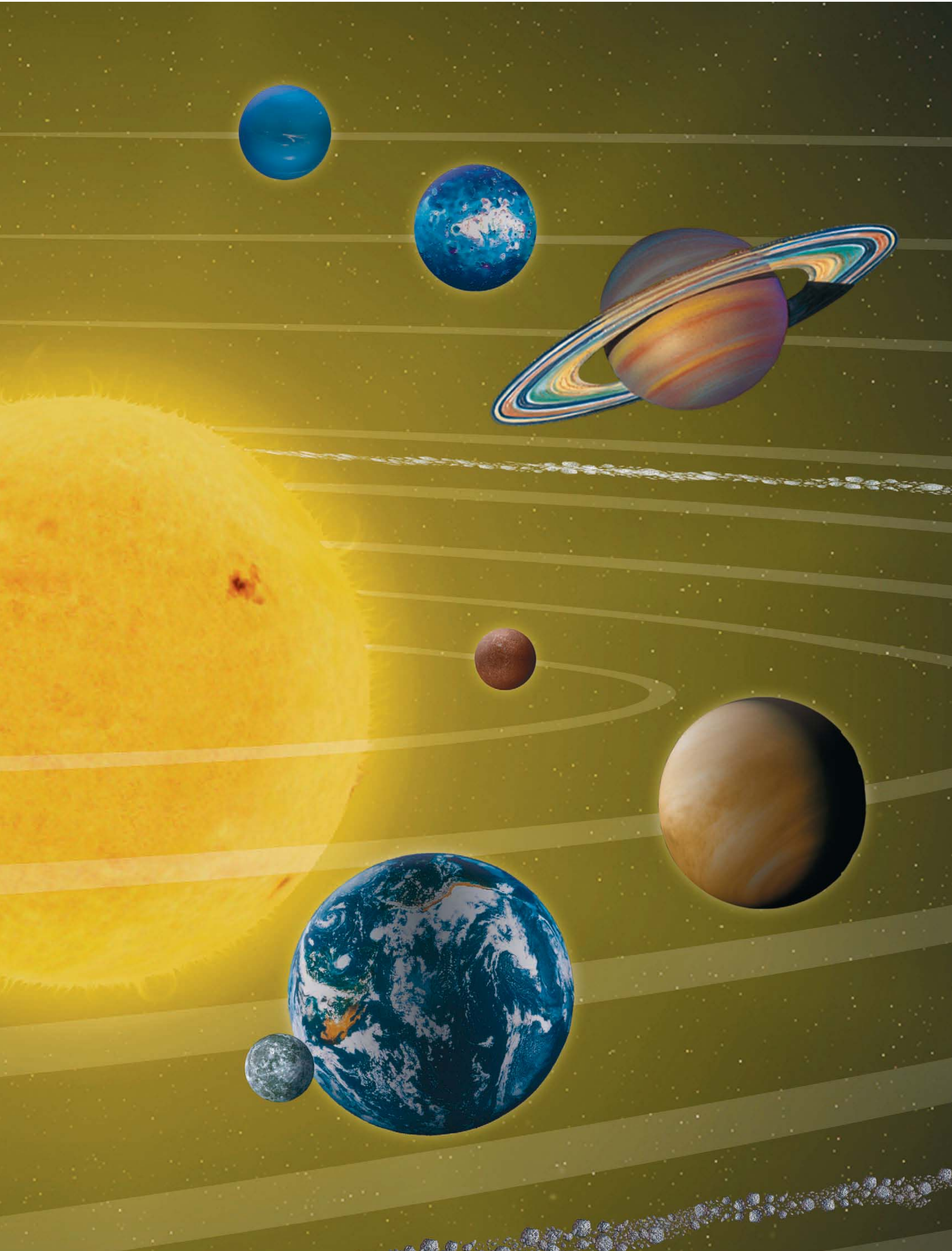
Карта звездного неба — главный помощник в астрономическом наблюдении

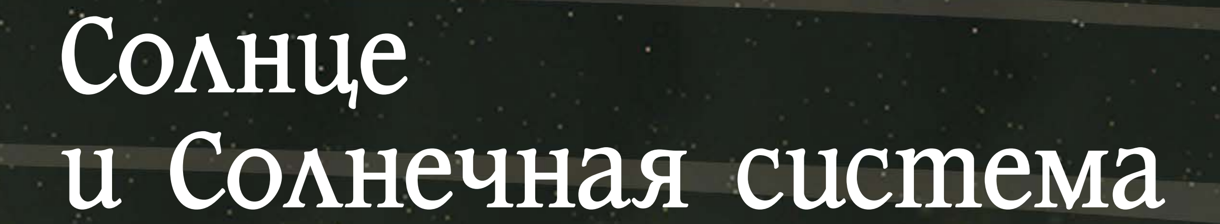



Астрономией можно заняться в любом возрасте

## Справочные материалы

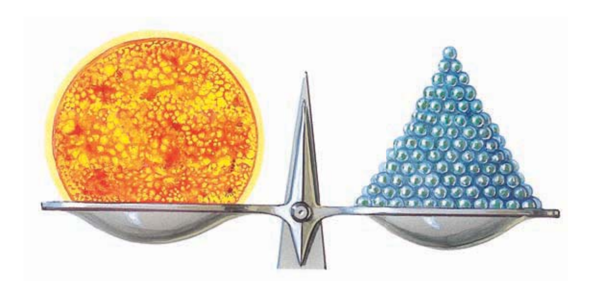
Для проведения астрономических наблюдений необходимо иметь информацию о положении Солнца, Луны, планет и их спутников, комет и астероидов. Эти сведения, а также данные о метеорных потоках, переменных звездах, условиях видимости затмений, покрытий звезд и планет Луной печатаются в ежегодных астрономических календарях, а также в периодических изданиях. В справочных руководствах указывается время интересных астрономических событий, а также даются координаты интересных объектов. Ни один астроном не может обойтись без подробных звездных карт, особенно необходимых при поиске слабых объектов. Большую помощь могут оказать компьютерные программы-планетарии, рисующие звездное небо в заданный момент времени для любой точки на Земле.

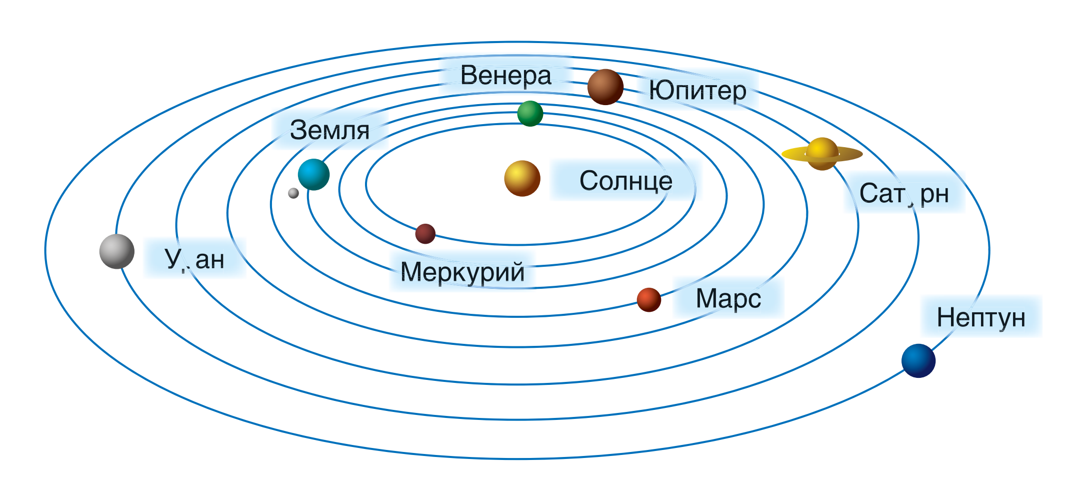




# Солнце и Солнечная система

**Жизнь людей и нашей планеты тесно связана с Солнцем, а сама Земля — объект Солнечной системы. Неудивительно, что это наиболее хорошо изученная часть Вселенной. На страницах данного раздела вы узнаете, как возникла и развивается Солнечная система; поймете, чем Солнце отличается от других звезд; прочитаете о планетах Солнечной системы и их особенностях. Не менее интересна информация о малых телах Солнечной системы: откуда появляются кометы, что такое астероиды, чем метеоры отличаются от метеоритов?**




Венера
Юпитер
Земля
Солнце
Меркурий
Марс
Нептун

Планеты Солнечной системы (* в единицах земных параметров)

| Планета | Диаметр* | Масса* | Сила тяжести* | Средняя плотность, г/см$^3$ | Атмосфера |
|---|---|---|---|---|---|
| Меркурий | 0,38 | 0,055 | 0,38 | 5,42 | Нет |
| Венера | 0,95 | 0,815 | 0,89 | 5,25 | $CO_2$ |
| Земля | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 5,51 | $N_2$, $O_2$ |
| Марс | 0,53 | 0,108 | 0,38 | 3,96 | $CO_2$ |
| Юпитер | 11,2 | 318 | 2,5 | 1,33 | $H_2$, He |
| Сатурн | 9,4 | 95 | 1,1 | 0,7 | $H_2$, He |
| Уран | 4,0 | 14,5 | 0,9 | 1,3 | $H_2$, $CH_4$ |
| Нептун | 3,8 | 17,2 | 1,2 | 1,8 | $H_2$, $CH_4$ |

тем меньше тепла и света она получает, однако температура на ее поверхности зависит также и от того, есть ли у планеты атмосфера и каков ее состав. Магнитные поля у планет земной группы очень слабые (кроме Земли).

Планеты-гиганты совершенно не похожи на планеты земной группы. Они очень массивны: на их долю приходится 99,5 % всей массы планетной системы. У них нет твердой поверхности в привычном для нас смысле. Они состоят в основном из водорода и гелия. Видимая поверхность этих планет — на самом деле облачный покров мощной атмосферы, окружающей океан сжиженного молекулярного водорода. Периоды обращения планет-гигантов вокруг Солнца порой превышают среднюю продолжительность жизни людей на нашей планете (например, у Нептуна — 165 лет). Однако вокруг своей оси они вращаются быстрее, чем любая из планет земной группы.

**Астрономов интересуют причины, по которым планеты земной группы так сильно отличаются от планет-гигантов. Главная причина очевидна — различное расстояние от Солнца. Дело здесь не только в количестве тепла и света, получаемом этими планетами: просто условия формирования планет были различными вблизи Солнца и на очень большом расстоянии от него. Сильно различались и плотность вещества, из которого формировались планеты, и его химический состав. Вопрос о том, почему существовали такие различия и как происходило образование планет, решает самостоятельный раздел астрономии — космогония.**

## Уникальна ли Солнечная система?

Трудно говорить о распространенности и типичности систем, подобных Солнечной системе. Многие из вновь обнаруженных планетных систем не похожи на нашу. Не исключено, что механизмы формирования планет у разных звезд неодинаковы. На это, в частности, указывает то, что у некоторых звезд массивные планеты расположены очень близко к центральному светилу или же движутся по вытянутым орбитам. Наша Солнечная система остается единственной, которая может быть изучена во всех деталях. Но исследования планет у других звезд только начинаются.





Планеты земной группы: Меркурий, Венера, Земля с Луной, Марс со спутниками

# Звезда по имени Солнце

*Солнце — самый яркий объект на небе, вполне доступный для наблюдения и изучения. Солнце во много раз ближе к Земле, чем другие звезды, поэтому свет и тепло от него имеют жизненно важное значение для нашей планеты. Свет других звезд очень слаб, что делает их непохожими на Солнце. Однако если бы астроном из далекой звездной системы наблюдал наше Солнце на своем небе, то он не обратил бы на него особого внимания — издалека Солнце выглядит обычной звездой.*



Бог Солнца Гелиос на античной монете

## Наблюдения Солнца

Без особых приспособлений для защиты глаз смотреть на Солнце нельзя! Его можно наблюдать, используя очень темный фильтр, сделанный из нескольких сильно засвеченных и хорошо проявленных фотопластинок (или пленок). При наблюдениях с помощью телескопа нельзя смотреть через него прямо на Солнце (даже любительский телескоп сильно концентрирует солнечные лучи, и можно навсегда ослепнуть). Однако есть простой способ не рисковать зрением: надо слегка выдвинуть окуляр телескопа так, чтобы за трубой получить действительное увеличенное изображение Солнца на плоском экране (листе картона или бумаги). Еще лучше запечатлеть изображение Солнца, построенное объективом телескопа, при помощи фотоаппарата или видеокамеры, используя при этом плотный светофильтр, чтобы не повредить эти приборы.



↑ Даже на фотографии, сделанной с поверхности Земли, Солнце кажется ослепительным

Профессиональные регулярные наблюдения Солнца ежедневно производят на солнечных обсерваториях, оборудованных множеством специальных приборов и инструментов. Современные солнечные телескопы отличаются большими размерами и, как правило, располагаются неподвижно. Такие телескопы называются целостатами. Неподвижность требуется для удобства присоединения к ним сложной и громоздкой аппаратуры, используемой для исследования и анализа солнечного излучения. Наведение телескопа на Солнце и слежение за ним осуществляют с помощью системы зеркал.

## Солнце — ближайшая к нам звезда

Сейчас трудно сказать, кто первым догадался, что Солнце — это тоже звезда. Во всяком случае, подобная мысль вряд ли могла родиться в античную эпоху, когда считалось, что сфера неподвижных звезд окружает центр мира — Землю, а Солнце представлялось одним из «блуждающих» светил. Однако итальянский мыслитель Джордано Бруно (XVI в.) с уверенностью говорил о том, что звезды — далекие солнца и что мир безграничен. Доказать эту идею удалось только в XIX в., когда ученые смогли определить расстояния до ближайших звезд и

сравнить мощность их излучения с мощностью излучения Солнца.

Окончательное доказательство было получено позднее, с помощью спектральных измерений, показавших, что спектры звезд и Солнца однотипны и принадлежат горячим непрозрачным плазменным телам, состоящим в основном из водорода и гелия. Сейчас с достаточной точностью измерены расстояния до сотен тысяч звезд, среди них есть и такие, что значительно уступают Солнцу по размерам и светимости, и такие, которые многократно превосходят его по всем параметрам.

## Для чего изучают Солнце?

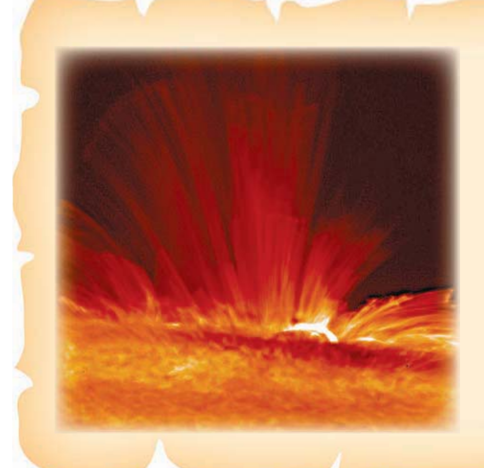
Изучение Солнца позволяет лучше понять свойства звезд — сравнительно близкое расстояние до нашего светила дает возможность исследовать его значительно подробнее, чем любую другую звезду. Только у Солнца можно измерить локальные значения магнитных полей, запечатлеть изображения отдельных деталей атмосферы и оценить скорости их движения, измерить слабые колебания поверхности.

Верным будет и обратное утверждение: изучение других звезд позволяет лучше разобраться в том, что представляет собой Солнце, оценить его возраст и спрогнозировать его дальнейшую судьбу. Звезды стареют очень медленно, сопоставление звезд, находящихся на разных стадиях эволюции, дало ключ к воссозданию их жизненного пути.

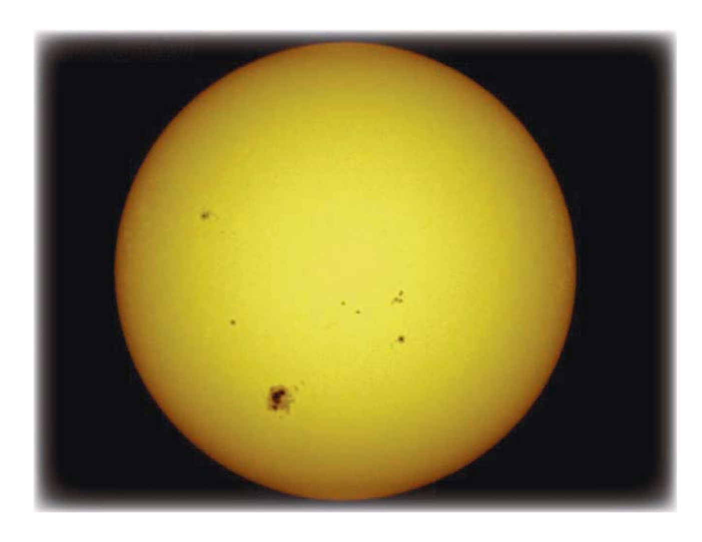
Схема будущей эволюции Солнца: увеличение размеров, превращение в красный гигант, сброс оболочки, превращение в белый карлик

Теперь мы знаем, что Солнцу не грозит разрушительный взрыв, как многим другим звездам, — для этого его масса слишком мала. Просуществовав столь же яркой звездой, как сейчас, еще 5—6 млрд. лет, оно начнет сравнительно быстро стареть. При этом Солнце, остывая, будет не гаснуть, а разгораться: его температура начнет падать, а мощность излучения возрастать и увеличится в конце концов в десятки раз.

Быстро стареющее Солнце раздуется до невероятных размеров, так что несколько планет Солнечной системы окажется внутри него. Что потом? Сброс небольшой части массы и сжатие в плотный компактный и горячий газовый шар — белый карлик.



**Установлено, что солнечная активность связана со многими явлениями на Земле. Процессы на Солнце воздействуют посредством мощного ультрафиолетового и рентгеновского излучения, а также потоков быстрых электронов и протонов, рождаемых при вспышках. Влияет на Землю и усиление движения плазмы, текущей от Солнца (резкие порывы солнечного ветра, докатывающиеся до Земли). Пространство между нами и Солнцем заполнено разреженным солнечным веществом, и лишь магнитное поле Земли защищает ее от этого горячего ветра.**



↑ Даже с помощью обычного телескопа можно увидеть на Солнце солнечные пятна

## Характеристики Солнца

Солнце образовалось около 5 млрд. лет назад. Это типичная желтая звезда-карлик, спектрального класса G2 (*см.* Классификация звезд). Среднее расстояние от Земли до Солнца (называемое также астрономической единицей) составляет около 150 млн. км. Размер видимого диска Солнца — 30 угловых секунд (такой же, как у Луны). По этим данным легко вычислить радиус Солнца: он равен 700 тыс. км, что примерно в 109 раз больше, чем радиус Земли.

Средняя плотность Солнца равна лишь 1,41 г/см$^3$, что вчетверо меньше средней плотности Земли. Температура фотосферы (самого глубокого слоя солнечной атмосферы) близка к 6000 К. По пути к Земле солнечный свет постепенно рассеивается в пространстве (это называется дилюцией); в ясный день на 1 м$^2$ земной поверхности попадает почти 1,4 кВт солнечной энергии (если не учитывать поглощения в атмосфере).

Непосредственные наблюдения позволяют определить некоторые параметры химического состава вещества в атмосфере нашего светила. Преобладающим на Солнце является водород, имеется также значительная доля гелия (около 25 % массы) и небольшое количество более тяжелых элементов (примерно 2 %).

## Внутреннее строение

Современная наука дает возможность рассчитать модель Солнца. Недра Солнца можно условно разделить на три зоны по характеру процессов, которые связаны с выделением и передачей энергии. Размер каждой зоны — примерно $^1/_3$ радиуса.

Центральную, внутреннюю, зону обычно называют ядром; там происходит термоядерная реакция с выделением тепла: в ядре выделяется 99,9 % энергии и сосредоточено больше 65 % массы.

Вторая зона (срединная часть Солнца) называется лучистой зоной; там практически нет ядерных реакций из-за низкой плотности и температуры. Через эту зону тепло передается к поверхностным слоям.

Следующую, внешнюю, область Солнца занимает конвективная зона. Здесь плазма приходит в движение: нагретые массы газа всплывают, остывают у поверхности и вновь опускаются вглубь за новой порцией энергии. Такой процесс называется конвекцией. Его можно наблюдать при быстром нагревании воды, пока она не начала кипеть: струи горячей жидкости поднимаются со дна к поверхности, образуя рябь. Конвективные потоки достигают наблюдаемых слоев Солнца.

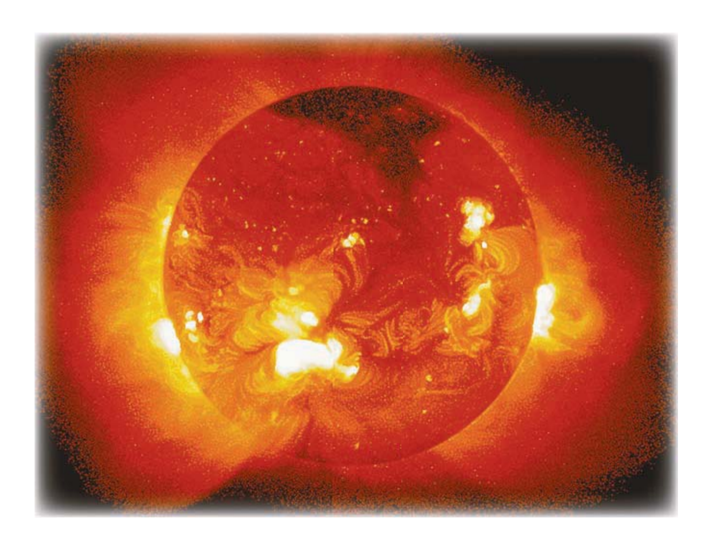
**Главный процесс, происходящий внутри звезды, — это выработка энергии и ее перенос наружу. Энергия высвобождается при превращении водорода в гелий. Аналогичное превращение имеет место при взрыве водородной бомбы. Только на Солнце взрыв этот носит спокойный характер благодаря саморегулированию. Говорят, что звезда в стабильном состоянии имеет отрицательную теплоемкость (при получении порции энергии ее температура понижается); это и обусловливает устойчивость звезды.**

## Можно ли увидеть недра Солнца?

В теории внутреннего строения Солнца есть и нерешенные проблемы. Одна из них — загадка солнечных нейтрино. Нейтрино — очень легкая (или совсем не имеющая массы покоя) элементарная частица, которая очень слабо взаимодействует с веществом, настолько слабо, что нейтрино, образующиеся в термоядерных реакциях в ядре Солнца, беспрепятственно проходят через всю его толщу и улетают в космос. Какая-то их часть попадает на Землю (которую они тоже с легкостью пронизывают). Таким образом, наблюдения нейтрино на Земле — это своего рода способ, позволяющий заглянуть в самые недра Солнца. Однако высокая проникающая способность нейтрино имеет обратную сторону: его нелегко зарегистрировать, т. к. эта частица успешно проходит через любые детекторы. В наше время ученые нашли способ регистрировать поток нейтрино. Но это создало для науки еще больше вопросов. Оказалось, что поток в несколько раз меньше, чем говорили теоретические расчеты. Согласовать теорию с практикой удалось с вводом в строй детекторов, способных регистрировать различные типы нейтрино. Подтвердилась гипотеза о том, что нейтрино одного типа могут превращаться в нейтрино другого.



Космический солнечный телескоп SOHO начал работу по изучению Солнца в 1996 г.



Так выглядит Солнце в рентгеновских лучах: темный диск с яркими вспышками

## Звучание светила

Оказывается, Солнце можно услышать. Сквозь непрозрачную стену огненной плазмы легко проходит звук, который рождается в бурных слоях кипящей конвекции и заставляет вибрировать и звучать все Солнце. Этот звук наиболее силен возле поверхности. Ученые «фотографируют» звук, измеряя волны на поверхности Солнца по мельчайшим смещениям и изменениям яркости, сопровождающим волну. Наблюдая за волнующейся поверхностью многие дни и недели, можно проследить, где родился и где побывал звук в недрах Солнца, какие препятствия он встретил на своем пути.

Так ученые измерили глубину конвективной зоны на Солнце, оценили глубину магнитного поля под активными областями и пятнами, обнаружили на невидимой стороне появление активных областей раньше, чем они возникли на обращенном к нам полушарии. Изучение колебаний позволило узнать, как вращается Солнце внутри: в конвективной зоне соседние слои тормозятся друг о друга, а в лучистой зоне и ядре вращение становится таким же, как у твердого шара. Изучая отклик разных волн, удалось измерить температуру на различной глубине внутри Солнца и сравнить ее с теоретическими расчетами.

# Солнечная атмосфера

*Атмосфера — это газовая оболочка. Атмосфера Земли представляет собой воздушный слой, в нижней части которого формируется погода на планете. Солнце, как и другие звезды, тоже имеет атмосферу, но она совсем не похожа на земную: это горячий разреженный газ, пронизываемый магнитными полями, в котором никогда не бывает затишья. Все структуры, непосредственно наблюдаемые на Солнце (солнечные пятна, солнечные вспышки), зарождаются и развиваются в его атмосфере.*



Наклонно бьющие струи газа в солнечной атмосфере

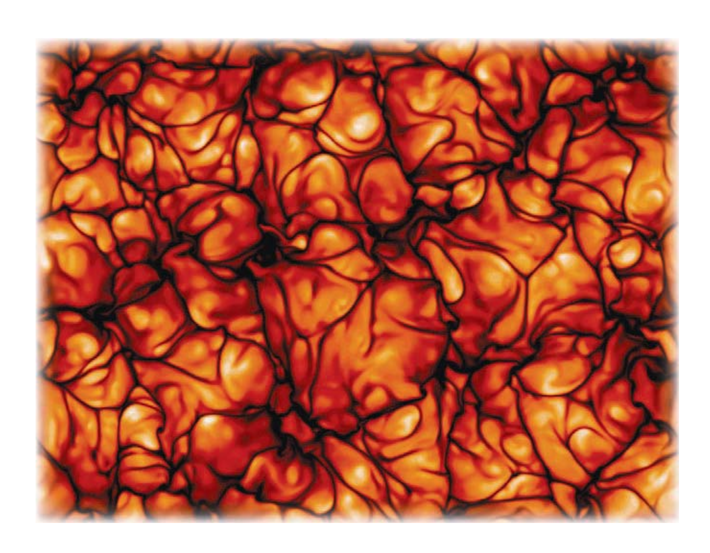
## Три оболочки

Атмосфера Солнца — это самые внешние его слои, из которых излучение может непосредственно уходить в межпланетное пространство. На основании наблюдений принято условно выделять в атмосфере Солнца три оболочки, а именно: 1) самая глубокая — фотосфера толщиной 200—300 км, состоящая из слабоионизованного, почти нейтрального водорода и в основном однократно ионизованных металлов (т. е. металлов, от атомов которых оторвано по одному электрону); 2) неоднородная, клочковатая хромосфера протяженностью 10—20 тыс. км, в которой по мере продвижения вверх последовательно ионизуются водород, гелий и более тяжелые химические элементы; 3) разреженная и горячая корона, в которой большинство атомов ионизовано вплоть до самых глубоких электронных оболочек. Солнечная корона постепенно переходит в динамическое образование — солнечный ветер.

Схема строения Солнца: 1 — ядро; 2 — лучистая зона; 3 — конвективная зона; 4 — фотосфера; 5 — хромосфера; 6 — корона

## Фотосфера

Фотосфера — самый глубокий слой атмосферы Солнца, непосредственно наблюдаемый в видимых лучах, основной источник солнечного света и тепла. Температура газов фотосферы уменьшается с высотой. От других слоев солнечной атмосферы она отличается более высокой плотностью. Кроме того, фотосфера обладает своеобразной структурой, напоминающей кучевые облака в земной атмосфере при наблюдении с самолета. Эта структура, называемая грануляцией, — проявление самых внешних слоев конвективной зоны, расположенных непосредственно под фотосферой. Однообразие этой структуры часто нарушается крупными темными пятнами, нередко образующимися целыми группами. Пятна обычно окружены яркими площадками — факелами. Пятна и факелы на Солнце можно наблюдать с Земли.



Гранулярная структура поверхности: каждое «зернышко» размером около 1000 км

## Хромосфера

Хромосфера расположена над фотосферой. По мере увеличения высоты температура в ней возрастает. Она очень неоднородна и состоит из отдельных мелких волокон и струй, сильно различающихся по температуре и плотности. Основной элемент ее структуры — спикулы — вытянутые, наклонно бьющие струи газа, поднимающегося и опускающегося со скоростью 10—30 км/с. Эти струи придают хромосфере вид горящей степи.

**Вещество солнечной атмосферы из-за присутствия большого числа свободных электронов очень хорошо проводит электрические токи, которые связаны с магнитными полями и взаимодействуют с ними. Атмосфера Солнца пронизана магнитными полями. Энергия магнитного поля Солнца постоянно поддерживается. Солнце — это многополюсный магнит, форма линий его магнитной индукции не только очень сложна, но и весьма изменчива. Солнечный ветер уносит с собой в межпланетную среду корональное магнитное поле, что приводит к образованию межпланетного магнитного поля.**

## Солнечная корона

Над хромосферой находится высокоионизованная, горячая и сильноразреженная плазма, называемая солнечной короной. Она состоит из тех же химических элементов, что и вещество фотосферы, однако отличается от него гораздо более высокой степенью ионизации. Переход от хромосферы к короне довольно резок: увеличение кинетической температуры плазмы в сотни раз и уменьшение плотности примерно в 1000 раз происходит на протяжении всего нескольких сот километров.

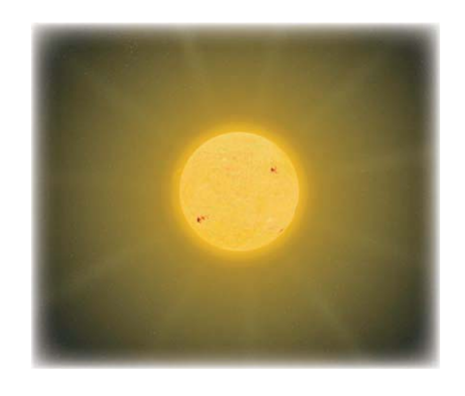
Причина высокой температуры и сильной ионизации плазмы короны — нагрев ее вещества электрическими токами, связанными с магнитными полями в короне. Общая структура короны имеет лучистый характер. Она простирается на десятки солнечных радиусов. Горячая корона словно испаряется в окружающее пространство, образуя поток ионизованной плазмы, истекающей из солнечной атмосферы вместе с магнитными полями. Этот поток непрерывно «дует» от Солнца по всем направлениям. Его называют солнечным ветром (*см.* Солнечный ветер).



Солнечную корону можно наблюдать во время полного солнечного затмения

# «Спокойное Солнце»

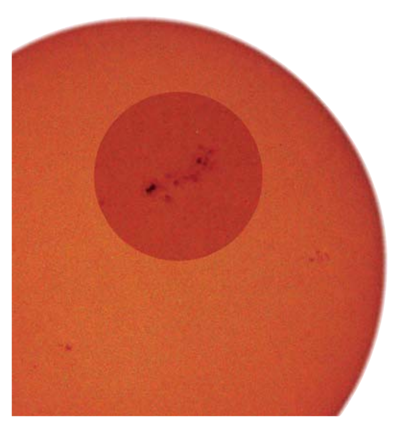
*С расстояния 150 млн. км солнечный диск кажется нам ровным и ярким — в любой день, в любое время года. Однако наблюдения показывают, что видимые слои солнечной атмосферы всегда неспокойны. Изменения, возникающие и развивающиеся на всех уровнях солнечной атмосферы, называют солнечной активностью, а само Солнце, когда эти изменения происходят особенно быстро, называют активным Солнцем. Когда временные образования возникают редко, Солнце называют спокойным.*



Солнце почти никогда не бывает абсолютно спокойным

## Пятна на Солнце

Наиболее известны такие проявления солнечной активности в фотосфере, как солнечные пятна. Они связаны с потоками намагниченной плазмы, всплывающими из более глубоких слоев Солнца. Вначале появляются маленькие темные образования — поры, затем часть пор быстро развивается в пятна. Размер наиболее крупных пятен достигает нескольких десятков тысяч километров. Продолжительность существования отдельных пятен — от нескольких часов и дней до нескольких месяцев. Обычно пятна образуют вытянутые параллельно солнечному экватору пары — биполярные группы, состоящие из двух крупных пятен с противоположной полярностью магнитного поля, окруженные множеством мелких пятен и пор. Ученые обнаружили 11-летнюю периодичность появления солнечных пятен. В какой-то период времени их может быть очень мало, затем число пятен быстро возрастает до некоторой максимальной величины, а после этого вновь начинает убывать до минимума. Последний максимум приходился на 2000—2001 гг.

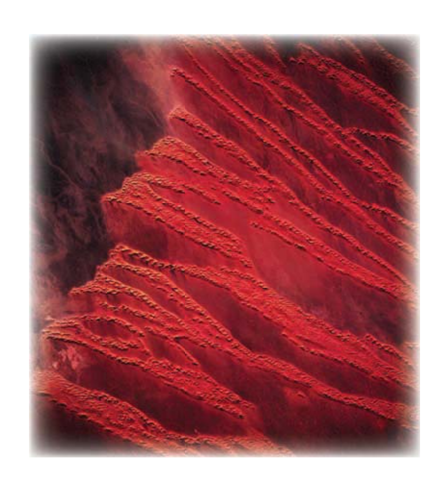


Появление пятен на Солнце обычно совпадает с магнитными бурями и полярными сияниями на Земле

В 1908 г. американский астрофизик Д. Хейл, изучив спектры солнечных пятен, доказал наличие в них магнитных полей напряженностью в несколько тысяч раз более сильной, чем в среднем на Солнце. Хейл обнаружил, что появлению пятен предшествует образование двух удаленных друг от друга областей магнитного поля противоположных полярностей: одна — на западном краю области, другая — на восточном. В обеих областях появляется множество пор и мелких пятен соответствующих полярностей. Постепенно разрастаются два главных пятна противоположной полярности: на западе — ведущее (по отношению к направлению вращения) и на востоке — «хвостовое». Так возникают биполярные группы солнечных пятен.

## Факелы и протуберанцы

Группы солнечных пятен обычно бывают окружены яркими площадками — фотосферными факелами. Факелы особенно выделяются вблизи края солнечного диска. Они образуют совокупность мелких светлых точек (факельных гранул) размером в сотни километров, создавая цепочки и ажурную сетку. Факелы присутствуют практически в любой активной области на



В активных протуберанцах появляются движущиеся узелки вещества, образующие целые струи

Солнце, их появление предшествует образованию пятен.

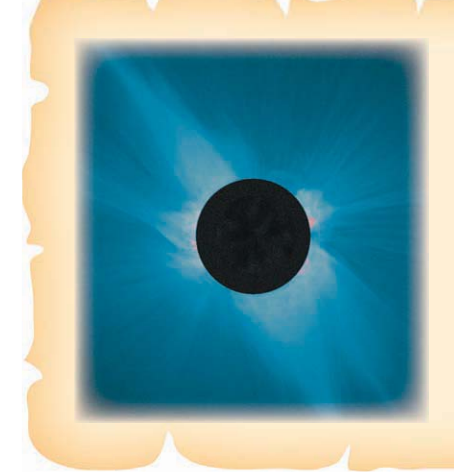
Заметные проявления солнечной активности — гигантские облака хромосферного вещества — протуберанцы (от лат. «протуберо» — «вздуваюсь»). Лучше всего они видны за краем солнечного диска в короне. В протуберанцах вещество в тысячи раз плотнее, чем в солнечной короне, однако магнитное поле удерживает вещество протуберанцев, не давая ему быстро падать на Солнце. Протуберанцы отличаются волокнистой и клочковатой структурой, а также многообразием форм. В некоторых из них в течение многих дней не заметно каких-либо движений вещества. Это «спокойные» протуберанцы. Иногда «спокойный» протуберанец вдруг взрывается, выбрасывая сгустки плазмы вверх, в корону. Часть из них может вернуться в хромосферу, а остальные уносятся в околосолнечное межпланетное пространство.

## Солнечные вспышки

Если протуберанцы — самые внушительные по своим размерам активные образования на Солнце, то самыми мощными являются солнечные вспышки, возникающие в результате неустойчивости намагниченной плазмы на некотором участке активной области. Вспышки приводят к выделению очень большой энергии и образованию мощных потоков заряженных частиц — электронов и протонов. Это явление длится от нескольких минут до нескольких десятков минут. Из области вспышки происходит энергичный выброс газа и потока солнечных космических лучей, а также электромагнитного излучения всех диапазонов — от рентгеновского и гамма-излучения до метровых радиоволн. Вспышки вызывают на Земле сильные геомагнитные возмущения.



Фотография вспышек на Солнце, сделанная космическим аппаратом «Трейс»



**Структура короны очень сложна, она содержит газовые арки и выбросы различных масштабов. В короне происходят такие проявления активности, как корональные выбросы газа, которые по заключенной в них энергии сопоставимы с солнечными вспышками. Корональные выбросы оставляют после себя в короне гигантские петли. Над протуберанцами в короне образуются сложные структуры — системы арок, вложенных друг в друга. Над ними можно наблюдать гигантские шлемовидные структуры. Все это лучше всего видно во время полных солнечных затмений.**

# Солнечно-земные связи

*Солнце медленно теряет свое вещество: потоки ионизованного разреженного газа непрерывно покидают его атмосферу и уходят в межпланетное пространство, образуя солнечный ветер. Он распространяется далеко за орбиты больших планет. Плазма солнечного ветра, а также солнечные космические лучи заполняют гелиосферу — протяженную область вокруг Солнца, на которую влияют солнечные магнитные поля. Гелиосфера в свою очередь воздействует на все тела Солнечной системы.*



Лучи Солнца соединяют Землю с далеким светилом

## Солнечный ветер

Подобно любому горячему газовому облаку, внешние слои Солнца создают более или менее постоянный поток ионизованной плазмы – солнечный ветер. В результате Солнце ежесекундно теряет около миллиона тонн своей массы, уходящей в межпланетное пространство. Однако это составляет не более $10^{-13}$ доли его массы в год, поэтому «похудение» Солнцу не грозит.

Вследствие осевого вращения Солнца заряженные частицы убегают от него не по прямым траекториям, а по гигантским спиралям, удаляясь со скоростью, составляющей у орбиты Земли около 400 км/с. Это и есть скорость солнечного ветра. В каждом кубическом метре околоземного космического пространства содержится около десятка миллионов частиц солнечного ветра, уходящего далеко за орбиту Земли и других планет. Временами, когда активность Солнца повышается, плотность (концентрация частиц) ветра значительно возрастает. Солнечный ветер уносит из солнечной атмосферы не только плазму, но и ее магнитное поле. Только собственные магнитные поля планет (Земли, Юпитера) не позволяют солнечному ветру и солнечному магнитному полю проникнуть к их поверхности.

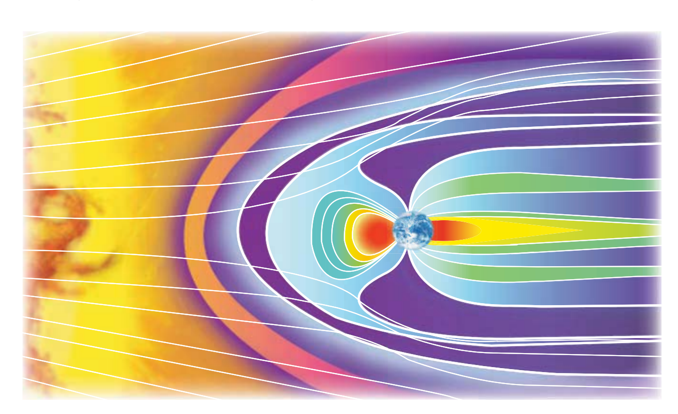


Схема воздействия потока солнечного ветра на магнитное поле Земли

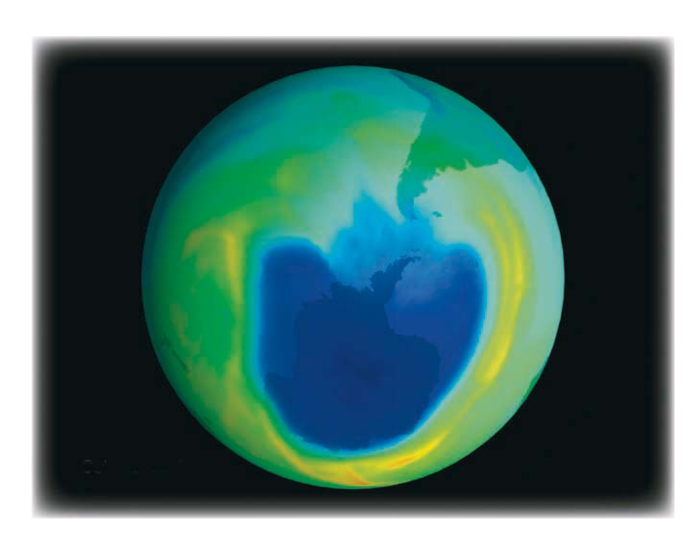


**Различные слои верхней атмосферы (ионосферы) способны отражать радиоволны определенных диапазонов, поэтому возмущения в ионосфере, вызванные дополнительным излучением от солнечных вспышек, влияют на условия прохождения радиоволн. Активность Солнца может послужить причиной нарушения радиосвязи. Мощные потоки частиц солнечной энергии в состоянии вывести из строя сложную космическую аппаратуру, работающую за пределами атмосферы, и представляют угрозу для космонавтов в открытом космосе.**

## Одно из проявлений

На пути к Земле солнечная плазма встречает препятствие — область, занятую земным магнитным полем (магнитосферу). Набегающий фронт солнечного ветра «сминает» и деформирует ее внешнюю границу со стороны, обращенной к Солнцу, а энергичные частицы обтекают препятствие. Обтекающий магнитосферу поток солнечного ветра сильно вытягивает магнитные силовые линии, образуя у Земли своеобразный магнитный «хвост» длиной в десятки миллионов километров, развернутый в сторону от Солнца.

Оказывается, что в области «хвоста» магнитосферы, а также вблизи магнитных полюсов заряженные частицы могут относительно легко «прорваться» сквозь земную магнитосферу. Энергичные электроны и атомные ядра устремляются к магнитным полюсам нашей планеты и, сталкиваясь с атомами и молекулами верхних слоев земной атмосферы, вызывают причудливые (то слабые, то очень яркие, переливающиеся различными цветами) свечения. Эти необычайно красивые и разнообразные явления называются полярными сияниями. По мнению ученых, подобные явления должны происходить и вблизи других планет Солнечной системы, имеющих магнитное поле.



Озоновая дыра над Антарктидой пропускает губительную ультрафиолетовую радиацию



Свечение атмосферы во время полярного сияния

## Роль солнечного излучения

Солнечный ветер — не единственный фактор, влияющий на Землю и другие планеты. Земля получает от Солнца энергию в виде света и других электромагнитных волн. Солнечная энергия, попадающая на нашу планету, играет основную роль в ее энергетическом балансе. Именно благодаря солнечной энергии температурные условия оказались пригодными для развития такого уникального явления, как жизнь.

Температура Земли, ее климат, погода в различных областях планеты — все это зависит от приходящего на Землю солнечного излучения. Неодинаковый нагрев разных участков суши, океана и атмосферы способствует возникновению мощных струйных течений в океанах, а также сильных ветров, циклонов и ураганов. Все эти процессы очень сложны, их влияние до конца не изучено.

Воздействие Солнца не ограничивается только погодой и климатом. Несмотря на то что в годы максимума и минимума цикла солнечной активности световая энергия, приходящая от Солнца, практически одинакова, этот цикл влияет на Землю очень существенно. Самым ярким примером может служить увеличение числа полярных сияний и магнитных бурь (т. е. быстрого изменения земного магнитного поля) в годы максимальной солнечной активности. Обнаружено влияние активности Солнца и на живую природу: на рост деревьев, миграцию некоторых животных и насекомых, а также на состояние психики и здоровья некоторых людей.

# Меркурий

*Меркурий — самая близкая к Солнцу планета. Изучать ее довольно трудно — мешает яркий свет Солнца. Мало кто может похвастаться, что видел Меркурий на небе невооруженным глазом. Знания об этой планете долго были крайне скудными. Теперь известно, что Меркурий — это небольшой по сравнению с Землей каменистый шар, сильно нагретый потоками солнечного света. Его осевое вращение очень медленное, а движение по орбите вокруг Солнца — самое быстрое из всех планет.*



Фото Меркурия собрано из фрагментов снимков

## Особенности движения

Ближайшая к Солнцу планета названа в честь римского бога Меркурия (у греков он известен как Гермес) — посланника богов и бога зари, покровителя торговцев и путешественников. Меркурий находится на среднем расстоянии 58 млн. км, или 0,4 а. е. (астрономической единицы), от Солнца. Двигаясь по сильно вытянутой орбите, Меркурий максимально (в перигелии) приближается к Солнцу на 0,31 а. е., а в максимальном удалении (афелии) находится на расстоянии 0,47 а. е. от него, совершая полный оборот за 88 земных суток.

Долгое время считалось, что Меркурий вращается вокруг своей оси синхронно с движением вокруг Солнца (т. е. с тем же периодом) и обращен к нему всегда одним полушарием. Однако в 1965 г. методами радиолокации с Земли было установлено, что период вращения этой планеты составляет только 58,6 суток, т. е. за $^2/_3$ своего года Меркурий совершает полный оборот вокруг своей оси.

Сложение осевого и орбитального движений приводит к тому, что, находясь на линии Солнце — Земля, Меркурий всегда повернут одной и той же стороной к нам. Солнечные сутки (т. е. промежуток времени между верхними или нижними кульминациями Солнца) продолжаются на Меркурии 176 земных суток.

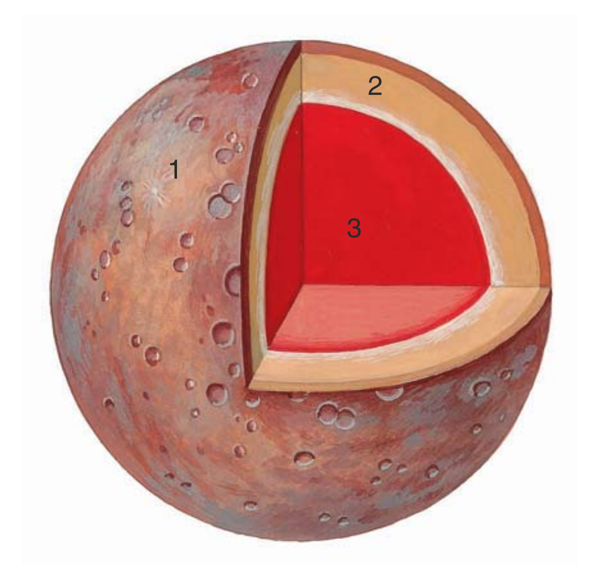



Схема внутреннего строения Меркурия: 1 — кора; 2 — мантия; 3 — ядро

## Условия на планете

Меркурий получает в шесть раз больше солнечного света на единицу площади, чем Земля, причем весьма значительная часть солнечной энергии поглощается, поскольку поверхность планеты темная, отражающая лишь 12—18 % падающего света. В перигелии температура освещенной поверхности достигает 700 К, а в афелии она составляет примерно 560 К. На ночной стороне температура поверхности опускается до 100 К.

У Меркурия обнаружена чрезвычайно разреженная гелиевая атмосфера, создаваемая солнечным ветром. В среднем каждый атом гелия находится в атмосфере Меркурия

**Уже давно была высказана гипотеза о том, что Меркурий — это очень давно потерянный спутник Венеры. Моделирование эволюции орбиты спутника с массой Меркурия, проведенное на современном компьютере, показало, что в принципе такой вариант не исключается и даже может объяснить медленное осевое вращение этих планет.**



Так выглядит поверхность Меркурия с расстояния около 300 км: сплошные кратеры разных размеров

около 200 дней, а затем покидает планету. Давление такой атмосферы у поверхности в 500 млрд. раз меньше, чем у поверхности Земли. Кроме гелия выявлено ничтожное количество водорода, следы аргона и неона. Слабое магнитное поле планеты составляет менее 1 % от напряженности магнитного поля Земли.

Ускорение свободного падения на Меркурии равно 3,68 м/с$^2$. Космонавт на этой планете будет весить почти в три раза меньше, чем на Земле! Ввиду того что средняя плотность Меркурия почти такая же, как и Земли, предполагается существование у Меркурия металлического ядра, занимающего примерно половину объема планеты. Над ядром расположены мантия и силикатная оболочка планеты.



Американская автоматическая межпланетная станция «Маринер-10»

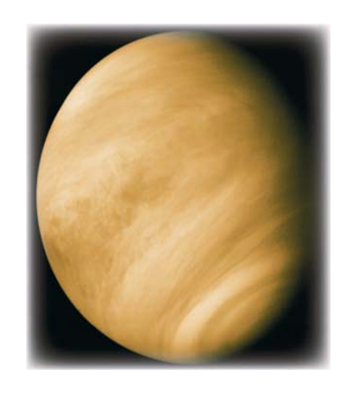
## Научное изучение

Составить точные карты поверхности планеты и увидеть мелкие детали ее рельефа впервые удалось благодаря космическому аппарату (КА) «Маринер-10», запущенному в 1973 г. в США. Этот КА три раза приближался к Меркурию и фотографировал разные участки поверхности планеты. В общей сложности удалось заснять 45 % ее поверхности — в основном Западное полушарие. Были также уточнены данные о радиусе планеты — 2439 км и ее массе — 5,5 % массы Земли. Самые лучшие фотографии поверхности Меркурия, полученные КА «Маринер-10», содержали детали размером до 100 м. На некоторых снимках хорошо видны следы излияния лавы и уступы, называемые эскарпами. По-видимому, это результаты интенсивной бомбардировки поверхности Меркурия метеоритами на заре формирования Солнечной системы.

Сфотографированная часть поверхности Меркурия удивительно похожа на лунную поверхность: ее покрывают множество кратеров различных размеров. В некоторых областях, которые называют равнинами, плотность кратеров существенно меньше — совсем как на лунных морях. Меркурианский рельеф имеет поднятия различных форм. Профили высот изучают с помощью наземных радиолокационных исследований, так удалось выявить несколько крупных кольцевых структур диаметром более 300 км.

# Венера

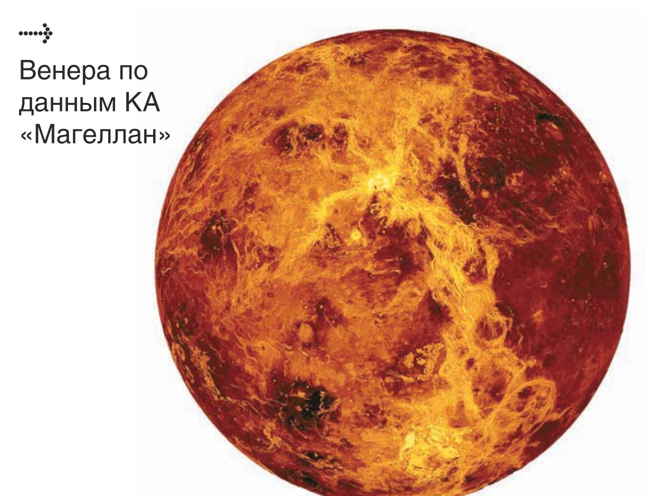
*Венера — самый яркий объект на небосводе, исключая Луну и Солнце. Из всех планет в своем орбитальном движении Венера ближе всего подходит к Земле. Масса и размер Венеры близки к земным, но этим сходства с нашей планетой почти исчерпываются. Облачный слой Венеры лишен просветов, поэтому долгое время ее поверхность оставалась загадкой. По правилам наименований, принятым Международным астрономическим союзом, детали рельефа Венеры называют женскими именами.*



Венера, скрытая за слоем облаков

## Кружение по орбите

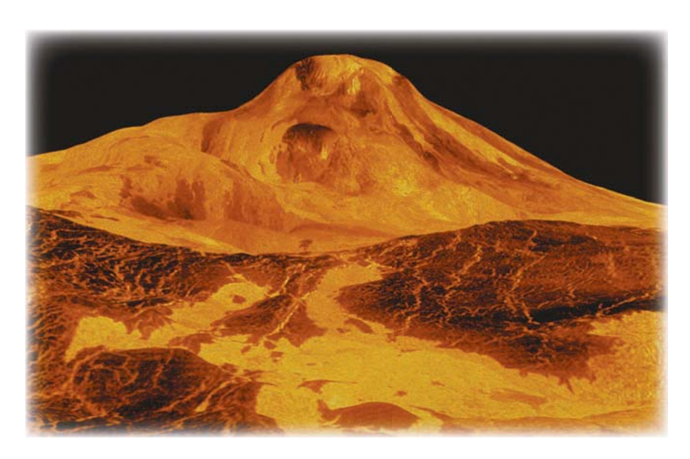
Вторая от Солнца планета названа в честь римской богини любви и красоты Венеры (в Древней Греции она была известна как Афродита). Венера удалена от Солнца на 108 млн. км (в перигелии это расстояние равно 107 млн. км, а в афелии — 109 млн. км). Радиус Венеры — 6052 км, а масса составляет 81 % массы Земли. Венера обращается вокруг Солнца в ту же сторону, что и другие планеты, совершая полный оборот за 225 суток. Период ее вращения вокруг оси — 243 суток. В отличие от других планет, Венера вращается вокруг оси в сторону, противоположную орбитальному движению. Вследствие этого солнечные сутки на Венере короче времени ее полного поворота вокруг оси и составляют 117 земных суток. Год на Венере лишь вдвое больше суток.



Венера по данным КА «Магеллан»

## Атмосфера

Небо на Венере имеет желто-зеленый оттенок. Атмосфера Венеры на 96,5 % состоит из углекислого газа и почти на 3,5 % из азота. Другие газы (водяной пар, кислород, окись и двуокись серы, аргон, неон, гелий и криптон) составляют менее 0,1 %. Следует иметь в виду, что венерианская атмосфера намного мощнее нашей, так что азота там, например, в пять раз больше по массе, чем на Земле. Туманная дымка в атмосфере Венеры простирается с высоты 30 км до высоты 48—49 км. Далее до высоты 70 км идет облачный слой, содержащий капельки концентрированной серной кислоты. Облака Венеры отражают $^3/_4$ приходящего солнечного света. Атмосфера Венеры — самая мощная среди атмосфер планет земной группы. Такая плотная атмосфера не дает поверхности остыть.

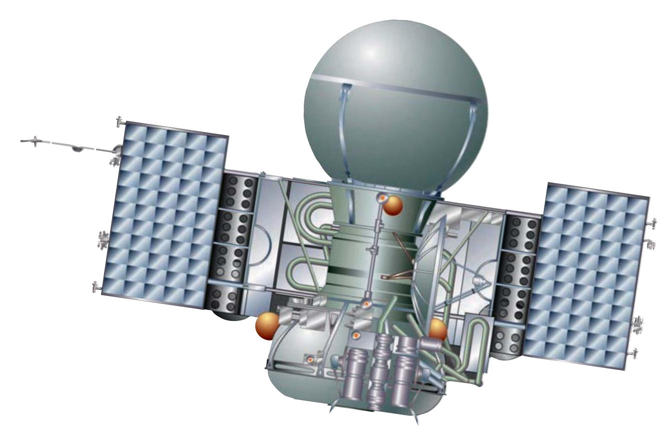


Типичный ландшафт поверхности Венеры с кратерами и древними вулканами

## На поверхности планеты

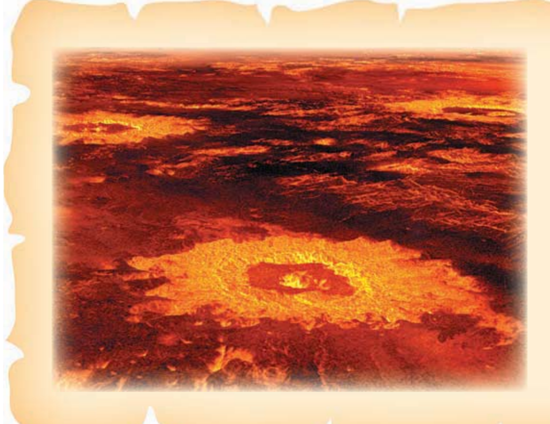
Венеру исследовали более 20 космических аппаратов (КА). Первым аппаратом, опустившимся на поверхность этой планеты в рабочем состоянии, стал КА «Венера-7» (1970). Он передал данные о составе атмосферы, температуре различных ее слоев и температуре поверхности, а также о давлении, равном примерно 90 земным атмосферам. Затем, в октябре 1975 г., два КА «Венера-9» и «Венера-10» осуществили мягкую посадку на освещенной стороне планеты и передали на Землю первые панорамы поверхности. На снимках видно множество камней, от самых маленьких до метрового размера, и рыхлый грунт между ними. Американский КА «Пионер Венера-1» в 1978 г. выполнил детальные исследования окружающего пространства и радиолокационное зондирование, благодаря которому была составлена первая подробная карта рельефа поверхности Венеры.

Оказалось, что большая часть поверхности Венеры занята холмистыми равнинами. На долю возвышенностей приходится лишь 8 % поверхности. На Венере обнаружено довольно много кратеров — около 900. Причем все они в поперечнике не менее 1,5 км: атмосфера Венеры не пропускает мелкие метеориты. Кроме того, на Венере выявлено около 150 крупных вулканов диаметром более 100 км, а небольших вулканов там насчитывается десятки тысяч! Это свидетельствует о наличии огромных резервуаров лавы под поверхностью планеты. Крупные депрессии (понижения) овальной формы с приподнятой центральной частью, окруженные валами — венцы, не похожи на формы рельефа, встречающиеся на других планетах. Их природа пока плохо известна. По-видимому, они образовались в результате движения глубинных потоков вещества в мантии планеты.



Советская автоматическая межпланетная станция «Венера-13»

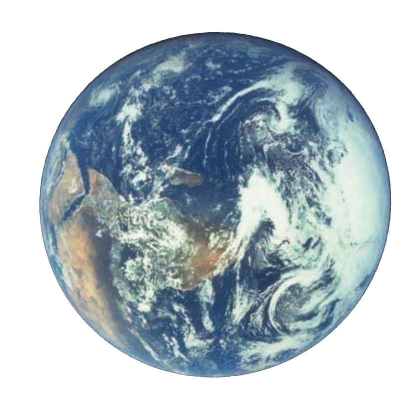
Данные о химическом составе пород впервые были получены в 1982 г. в месте посадки аппаратов «Венера-13» и «Венера-14», оснащенных специальными грунтозаборными устройствами. Ученые нашли, что венерианские породы сопоставимы с земными базальтами, встречающимися в глубоководных впадинах океанов. В состав пород входят окислы кремния, алюминия, магния, железа, кальция и других элементов. У Венеры имеется железное ядро радиусом 3000 км и мантия из расплавленных горных пород, занимающая большую часть планеты.



**Крупные возвышенные области Венеры получили названия: Земля Афродиты, Земля Иштар и Земля Лады. Крупные кратеры названы в честь выдающихся женщин мира, а небольшие кратеры носят личные женские имена. Многочисленным грядам, которые простираются с севера на юг на тысячи километров, даны имена богинь. Для названий равнин используются женские мифологические персонажи.**

# Земля

*Наша планета уникальна не только потому, что мы на ней живем. Это единственная планета, где имеются большие объемы жидкой воды, где атмосфера не слишком разреженная, чтобы пропускать жесткое солнечное излучение и не слишком плотная, чтобы скрывать небо от ее обитателей. Изучением поверхности Земли и ее недр занимается наука геология, внутренним строением Земли — сейсмология, состоянием атмосферы — метеорология, проблемами Мирового океана — океанология.*



Так выглядит наша планета из космоса

## Характеристика планеты

Подобно другим планетам Солнечной системы, Земля движется вокруг Солнца по эллиптической орбите. В перигелии (3 января) расстояние до Солнца примерно на 2,5 млн. км меньше, а в афелии (3 июля) — на столько же больше среднего расстояния, составляющего около 150 млн. км. Плоскость земного экватора наклонена к плоскости орбиты на угол 23°27'. Суточное вращение Земли происходит с практически постоянной угловой скоростью и составляет период 23 ч 56 мин 4,1 с. У Земли есть единственный естественный спутник — Луна. Масса Земли составляет $5{,}974 \times 10^{24}$ кг.

Подобно другим планетам земной группы, Земля имеет твердую оболочку, в которой сосредоточена большая часть ее массы. Кроме того, Земля обладает газовой атмосферой, жидкой оболочкой — гидросферой, а также биосферой — оболочкой, состав и структура которой обусловлены деятельностью живых организмов. Мировой океан занимает 71 % поверхности Земли. Горы, особенно высокие, так же как и глубоководные впадины, занимают незначительную часть планеты. Максимальная высота гор на Земле — около 10 км (на Марсе, где гравитационное поле в 2,5 раза слабее земного, — около 25 км). На современных континентах распространены главным образом низменные равнины.

## Твердая оболочка и недра

У земных недр различают три основные части: кору, мантию (оболочку) и ядро. Кора — самая внешняя тонкая (10—100 км), твердая и наименее плотная оболочка. Минимальную толщину она имеет в океанических областях, а максимальную —

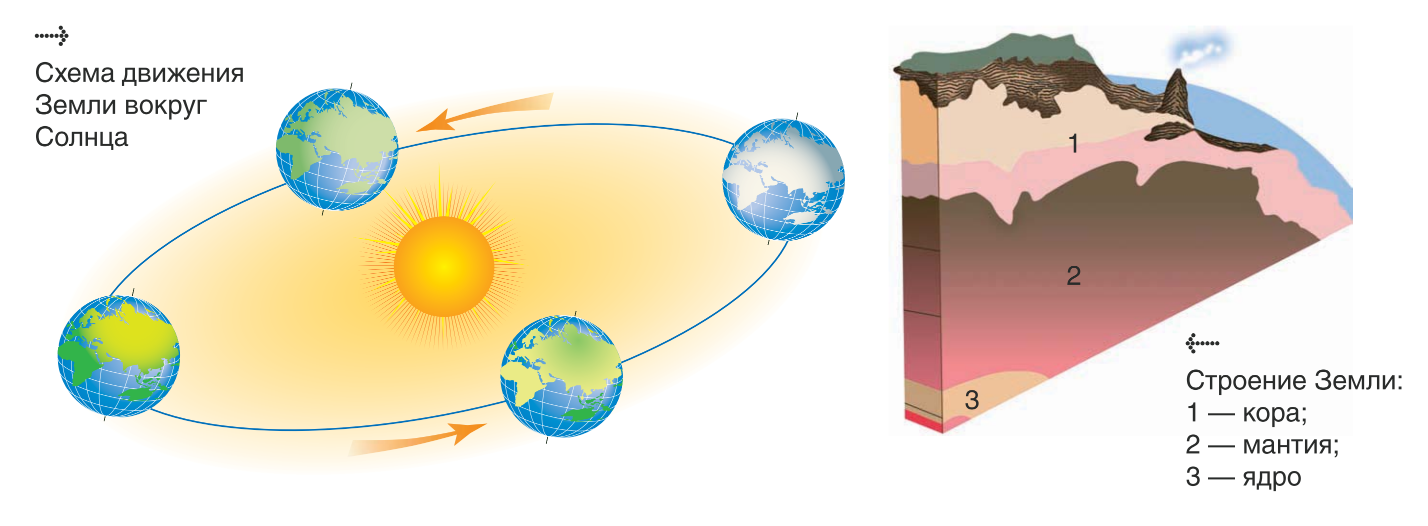



Схема движения Земли вокруг Солнца

Строение Земли:
1 — кора;
2 — мантия;
3 — ядро

**Наша планета окружена протяженной и достаточно плотной атмосферой, поэтому основное количество метеоритов сгорает, так и не долетев до поверхности Земли. По данным причинам на земной поверхности намного меньше метеоритных кратеров, чем, например, на Луне, у которой нет атмосферы. Один из наиболее крупных и хорошо сохранившихся кратеров на Земле — Аризонский. Он образовался примерно 50 тыс. лет назад при падении на Землю массивного небесного тела. В результате возникла чашеобразная воронка диаметром 1250 м и глубиной 174 м.**



в горных районах материков. Под корой находится твердая и толстая (1000—3000 км) оболочка — мантия, имеющая сложное строение и промежуточную плотность, меняющуюся с глубиной. Мантия разделяется на верхнюю (850—900 км) и нижнюю (около 2000 км), в которой температура близка к точке плавления. Ядро Земли разделяют на внешнее (жидкое) и внутреннее (твердое). Ядро, по-видимому, состоит из железа. В земной коре преобладают оксид кремния и оксид алюминия. В литосфере (твердом веществе Земли) основными элементами являются железо (34,6 %), кислород (29,5 %), а также кремний (15,2 %) и магний (12,7 %). Температура в центре Земли — 6000 °С. Средняя плотность вещества Земли равна 5500 кг/м$^3$.

## Тектонические процессы

В недрах планеты под действием гравитационных сил тяжелые фрагменты постепенно тонут, а легкие всплывают. Подобные глубинные процессы влияют на земную кору, вызывая деформацию и горообразование. Такого рода явления называются тектоническими. Им родственны вулканические процессы. В верхней мантии существуют небольшие области, где температура достаточна для плавления ее вещества. Расплавленное вещество (магма) выдавливается вверх и прорывается через кору. Происходит вулканическое извержение, при котором из недр также выбрасываются водяной пар, углекислый газ и другие газы.

На Земле хорошо выражена тектоника плит — перемещение крупных блоков земной коры. Например, приборы спутниковой навигационной системы зафиксировали подъем вершины Эвереста со скоростью около 1 см в год. Происходит это из-за подвижки материковых плит Индийского субконтинента к северу со скоростью свыше 10 см в год. Движение в противоположных направлениях Тихоокеанской и Североамериканской плит со скоростью примерно 13 мм в год привело к образованию так называемого разлома Сан-Андреас. Вблизи разломов часты и сильны землетрясения, а также образуются цепи вулканов.



Так горячая магма прорывается сквозь земную кору

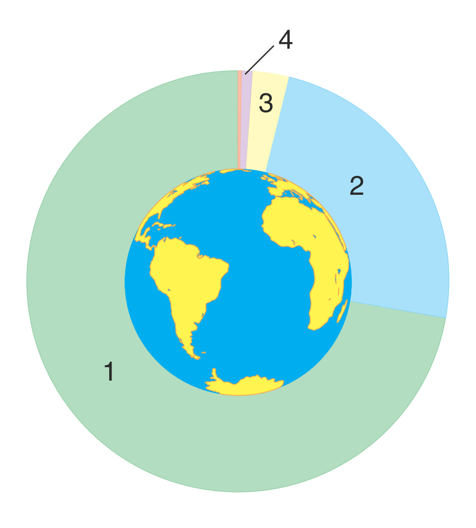





Схема химического состава земного воздуха: 1 — азот; 2 — кислород; 3 — аргон; 4 — углекислый газ



Схема постоянной циркуляции земной атмосферы

## Состав атмосферы

Земля окружена протяженной атмосферой, не имеющей четкой верхней границы. Средняя молекулярная масса земной атмосферы у поверхности планеты равна 28,8, а ее давление на уровне поверхности океана составляет (при нормальных условиях) приблизительно 100 Па. Вертикальную структуру атмосферы, т. е. изменения физико-химических характеристик с высотой (распределение различных химических элементов, входящих в состав атмосферы, по высоте; состояние ионизации и плотность вещества на различных высотах и т. д.), определяют поле тяготения планеты, а также температура и химический состав атмосферы.

Химический состав атмосферы заметно меняется в зависимости от высоты. Основными газами, входящими в состав нижних слоев атмосферы Земли, являются азот (около 78,1 %) и кислород (почти 21 %). Других газов существенно меньше (например, аргона — около 0,9 %, водяного пара — около 0,1 %). Водород и гелий — самые распространенные элементы почти во всех небесных объектах, но в нижних слоях земной атмосферы они практически отсутствуют. Эти элементы обнаружены лишь в верхних ее слоях — геокороне. Они становятся основными компонентами атмосферы только на высотах порядка нескольких сот километров (гелий преобладает в атмосфере начиная с 500—1000 км, а на еще больших высотах атмосфера состоит практически из чистого водорода — самого легкого газа). Однако общее их содержание во всей атмосфере ничтожно мало по сравнению с другими химическими элементами. К тому же количество водорода и гелия постоянно уменьшается — молекулы этих газов улетают в межпланетное пространство.



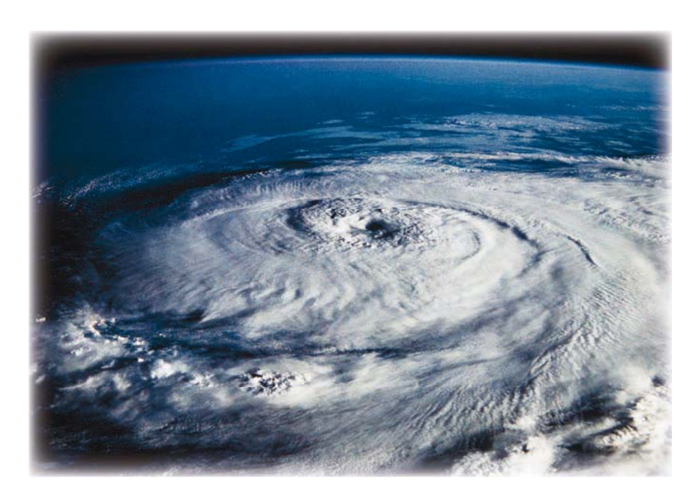
**Полагают, что в результате воздействия биосферы и длительного химического взаимодействия с горными породами атмосфера Земли обогатилась кислородом и приобрела современный химический состав. Это предположение подтверждается исследованием химического состава осадочных пород и геологических пластов соответствующего возраста. Достаточно плотная атмосфера Земли сглаживает суточные температурные колебания, а также разность температур между полюсом и экватором.**

## Атмосферные слои

Воздух в атмосфере Земли распределен так, что почти половина его сосредоточена на высотах ниже 6 км, половина оставшегося вещества атмосферы — ниже 12 км. Плотность воздуха падает с высотой. На высотах 500—1000 км плотность атмосферы может меняться в 10—100 раз в течение суток и в зависимости от периода солнечной активности, причем наибольшая плотность характерна для дневного времени суток и для максимума солнечной активности, а наименьшая — для ночного времени и для минимума солнечной активности.

По физическим процессам атмосферу можно разделить на две области: хемисферу (ниже 80 км), где существенную роль играют химические процессы, и ионосферу (выше 80 км), где преобладают электрические процессы. Наличие электронов и ионов в верхних слоях атмосферы обусловлено тем, что здесь интенсивно поглощается ультрафиолетовое излучение Солнца.

Каждому атмосферному слою соответствует своя температурная зависимость. В тропосфере — нижнем слое атмосферы — температура постепенно падает с высотой. Это область изменений погоды. Над ней расположена стратосфера, которая характеризуется постоянной температурой порядка −55 °С. Еще выше находится мезосфера, в которой температура сначала растет, а затем падает до −65 °С. Выше 80 км температура монотонно возрастает и на высоте около 350 км достигает постоянного значения — около +1300 °С. Благодаря тому что экваториальные атмосферные массы прогреваются сильнее полярных, в верхних слоях атмосферы происходят постоянные перемещения воздушных масс как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях.



Вихревые потоки в атмосфере могут перерастать в мощнейшие ураганы

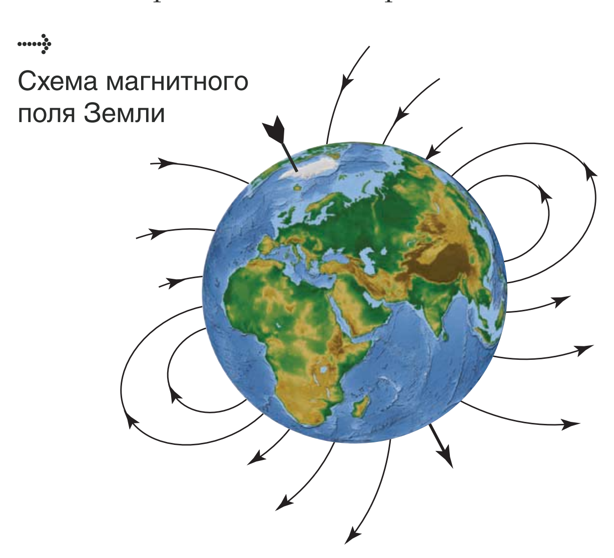


Схема магнитного поля Земли

## Магнитное поле

Наличие магнитного поля — одна из особенностей нашей планеты. Изучение намагниченности изверженных и осадочных пород показывает, что Северный и Южный магнитные полюсы Земли иногда меняются местами. Считается, что собственное магнитное поле нашей планеты возникает благодаря наличию электрических токов в ее расплавленных недрах. Под действием солнечного ветра область вокруг Земли, содержащая ее магнитное поле (магнитосфера), имеет несимметричную конфигурацию: с освещенной Солнцем стороны Земли она ограничена примерно сферической поверхностью с радиусом 10—15 радиусов Земли, а с противоположной стороны вытянута, подобно хвосту кометы. Магнитосфера защищает планету от губительных для живых организмов быстрых заряженных частиц, непрерывно летящих от Солнца.

# Луна

*Луна — это естественный спутник Земли и самое близкое к нам небесное тело: расстояние до нее около 400 тыс. км. Это единственное космическое тело, на котором побывали люди. На Луне нет атмосферы, воды, растительности и живых организмов. Ее поверхность днем раскаляется лучами Солнца, а по ночам там космический холод. День и ночь с перепадами температур до 300 °С длятся по две недели. Луна все больше привлекает землян своими уникальными условиями и ресурсами.*



Знакомая землянам видимая сторона Луны

## Лунные условия

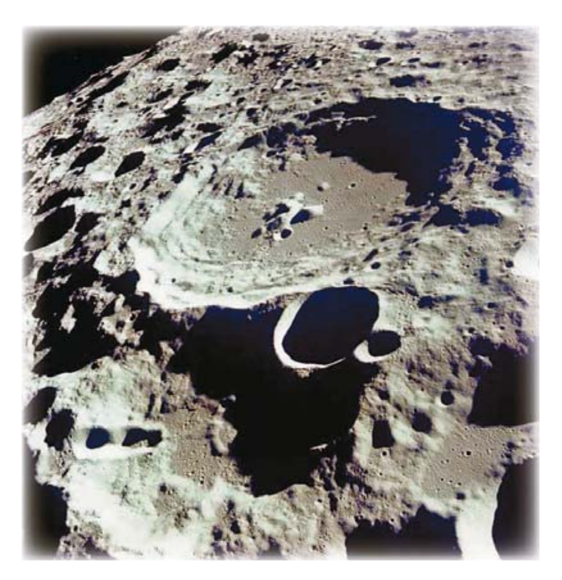
Форма Луны изучена очень хорошо. Фигура, образованная физической поверхностью Луны, близка к правильной сфере со средним радиусом 1737,5 км. Площадь поверхности лунного шара составляет около 38 млн. км$^2$, или 7,4 % площади земной поверхности, а объем — 2 % объема Земли. Средняя плотность Луны — 3,34 г/см$^3$, что значительно меньше средней плотности Земли (5,51 г/см$^3$). Сила тяжести на Луне в шесть раз меньше, чем на Земле, поэтому человек, находясь на ее поверхности, будет ощущать, что его тело утратило $^5/_6$ своего веса. Поскольку масса Луны относительно мала, газовой оболочки (атмосферы) у нее практически нет. Поэтому поверхность Луны освещается прямыми солнечными лучами.

## Рельеф

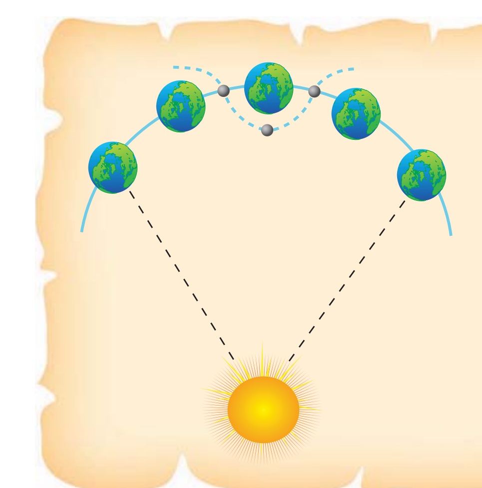
На поверхности Луны выделяют области двух типов: светлые материковые, занимающие 83 % поверхности, и темные области, названные морями еще в середине XVII в., когда предполагалось, что там имеется вода. Преобладающий тип образований лунной поверхности — кратеры самых разных размеров, от сотен километров до нескольких десятков сантиметров в поперечнике, появившиеся в результате ударов метеоритов о поверхность. Кроме того, на Луне встречаются долины шириной в несколько десятков километров и длиной в сотни километров, а также горные массивы, которые чаще всего окаймляют круговые моря. Польский астроном Ян Гевелий еще в 1647 г. предложил называть их по именам земных гор: Апеннины,



Фотография Земли, сделанная космическим аппаратом со стороны Луны



Лунные кратеры отличаются не только размерами, но и видом окружающего вала: у молодых кратеров вал четкий, а у более древних он разрушен



**Луна движется по траектории сложной формы под воздействием тяготения в основном двух небесных тел — Земли и Солнца. Земля удерживает Луну на среднем расстоянии 384 400 км. Период обращения Луны вокруг Земли составляет 27,3 суток. Луна вращается вокруг своей оси в том же направлении, в котором она обращается вокруг Земли, и с тем же периодом — 27,3 суток. Поэтому с Земли мы видим только одно полушарие, которое так и называют — видимое, а другое, скрытое от наших глаз, полушарие называют обратной стороной Луны.**

Алтай, Кавказ, Карпаты. Самые высокие лунные горы — Апеннины — достигают 6 км. Кратеры называют в честь астрономов, философов и других ученых.

Эволюция лунной поверхности завершилась около 3 млрд. лет назад. Позже метеоритная бомбардировка продолжалась, но уже с меньшей интенсивностью. В настоящую эпоху образование новых кратеров на Луне — очень редкое событие. Основную массу бомбардирующих тел составляют микрометеориты — крошечные камни, врезающиеся в поверхность Луны со скоростью в среднем 25 км/с. Они не оставляют кратеров, но медленно разрыхляют поверхностный слой. В результате такой длительной переработки поверхности образовался верхний рыхлый слой пород Луны — реголит.

## Недра

Условно лунные недра разделяют на пять зон. Самая верхняя зона толщиной 60—100 км отождествляется с лунной корой. Вторая зона — верхняя мантия имеет толщину около 250 км. Третья зона — средняя мантия толщиной около 500 км (здесь находятся очаги глубоких лунотрясений). Четвертая зона — нижняя мантия, вещество которой может находиться в расплавленном состоянии. Температура в верхней части этого слоя может доходить до 1500 °С. На глубине 1400—1500 км начинается пятая зона — лунное ядро, содержащее большое количество железа.

## Исследование Луны

На сегодняшний день Луна хорошо изучена как с помощью наземных телескопов, так и благодаря полетам более 50 космических аппаратов (КА) и космических кораблей (КК) с космонавтами. КА «Луна-3» (СССР, 1959) и «Зонд-3» (СССР, 1965) впервые сфотографировали восточную и западную части невидимого с Земли полушария Луны; искусственные спутники Луны исследовали ее гравитационное поле и рельеф; самоходные аппараты «Луноход-1» и «Луноход-2» передали на Землю множество снимков и информацию о физико-механических свойствах грунта; 12 американских астронавтов с помощью КК «Аполлон» (США) в 1969—1972 гг. побывали на Луне, где провели исследования на поверхности. Астронавты установили там специальную научную аппаратуру. Они привезли на Землю около 400 кг лунных пород.



Образец лунного грунта

# Марс

*Среди прочих планет Марс больше всего похож на Землю: на нем происходит не только смена дня и ночи, но и смена времен года; на Марсе есть атмосфера, горы и низменности, лед в полярных областях, а когда-то, возможно, были открытые водоемы. Неудивительно, что человеческая фантазия давно «заселила» эту планету. С полетом космических аппаратов к Марсу удалось подробно изучить его. Холодная пустыня — вот что представляет собой большая часть его поверхности.*



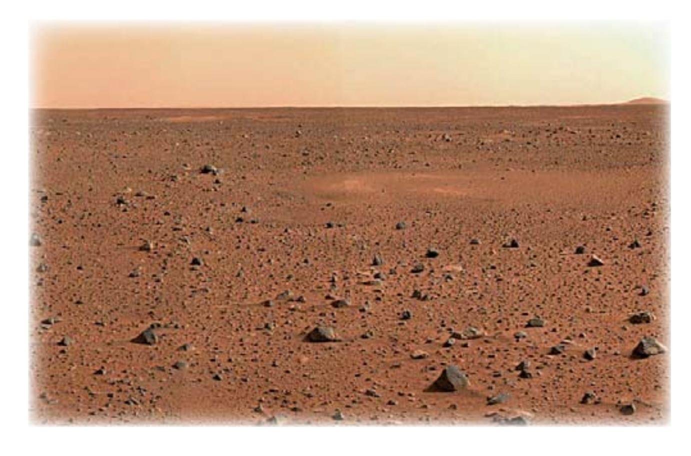
Снимок Марса с аппарата «Викинг»

## Главные характеристики

Четвертая от Солнца планета названа по имени римского бога войны Марса из-за своего красноватого цвета. Марс расположен в 1,5 раза дальше от Солнца, чем Земля, и, в отличие от нее, движется по более вытянутой орбите, совершая полный оборот за 687 земных суток. Расстояние от Марса до Солнца меняется от 207 млн. км в перигелии до 250 млн. км в афелии. Марс меньше Земли по массе в 10 раз, а по площади поверхности — в 3,5 раза. Период осевого вращения Марса составляет 24 ч 39 мин 36 с. На Марсе наблюдается смена времен года, но сезоны там длятся почти вдвое дольше, чем на Земле. При этом сезоны в Северном и Южном полушариях имеют разную продолжительность: лето в Северном полушарии длится 177 марсианских суток, а в Южном оно на 21 день короче. Среднегодовая температура на Марсе близка к 213 К (–60 °С).

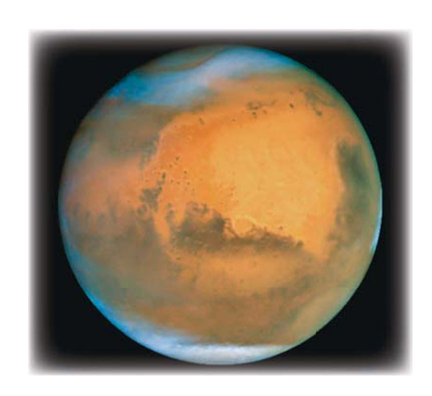
Атмосфера Марса на 95 % состоит из углекислого газа. Другие составляющие: 2,5 % азота, 1,6 % аргона, менее 0,4 % кислорода. Среднее давление атмосферы у поверхности в 160 раз меньше, чем давление на уровне моря нашей планеты. Атмосфера планеты сухая, в ней практически нет водяных паров.

Около 35 % поверхности Марса составляют равнины. Границами между ними служат горные хребты. На Марсе найдено более 70 потухших вулканов. За исключением равнин, поверхность Марса густо покрыта кратерами. Они, как правило, выглядят более разрушенными, чем на Меркурии или Луне. Наличие борозд и трещин свидетельствует о том, что в древности на Марсе была вода.



Участок марсианского кратера. Они здесь более разрушенные, чем на Луне

**Орбиты Марса и Земли лежат практически в одной плоскости. Через каждые 780 дней Земля и Марс оказываются на минимальном расстоянии друг от друга. Такое сближение планет называют противостоянием. Если расстояние между планетами менее 60 млн. км, то противостояние называют великим. Великие противостояния повторяются через каждые 15—17 лет.**



Полярные шапки на Марсе. Снимок космического телескопа «Хаббл»

## Льды и пыльные бури

В мощный телескоп на поверхности Марса видны белые полярные шапки. Их размеры меняются со сменой сезона: летом шапки уменьшаются. Полярные шапки многослойны. Нижний, основной слой толщиной в несколько километров образован обычным водяным льдом, смешанным с пылью, который сохраняется и в летний период. Это так называемые постоянные шапки. Наблюдаемые сезонные изменения полярных шапок происходят за счет верхнего слоя толщиной менее 1 м, содержащего твердую углекислоту — «сухой лед».

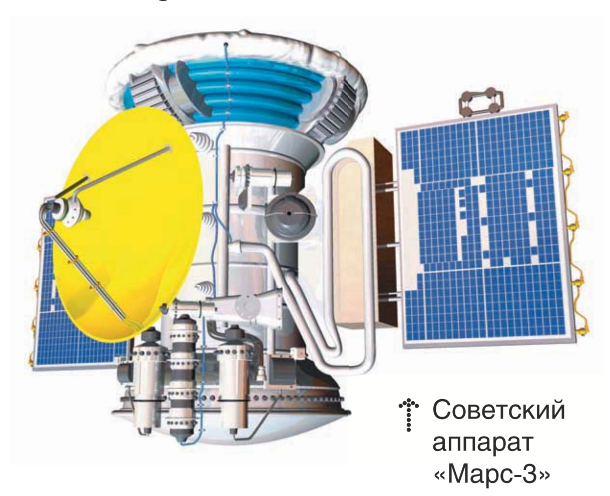
В периоды, когда Марс находится ближе всего к Солнцу, нагрев поверхности и атмосферы возрастает. Возникает сильный ветер, начинаются вихри и бури. Иногда более миллиарда тонн пыли поднимается и удерживается во взвешенном состоянии в атмосфере. Продолжительность пылевых бурь может достигать 50—100 суток.



Космический аппарат исследует спутник Марса Фобос

## Изучение Марса

Начало космического исследования Марса положили космические аппараты (КА) серии «Марс» (СССР) и «Маринер» (США). Первым КА, достигшим красной планеты, стал «Марс-1» (1962). Первые снимки участков поверхности Марса были сделаны КА «Маринер-4» в 1965 г., а также «Маринер-6» и «Маринер-7» (США) в 1969 г. По фотографиям, полученным КА «Маринер-9» в 1971 г., составлены подробные карты поверхности. В этом же году была осуществлена первая мягкая посадка на поверхность (советский КА «Марс-3»). КА «Марс Пасфайндер» (США) в 1997 г. доставил на поверхность маленький марсоход, который выполнил исследования химического состава пород.



Советский аппарат «Марс-3»

## Спутники

Спутники Марса были открыты в 1877 г. американским астрономом Асафом Холлом. Их назвали Фобос (страх) и Деймос (ужас). Спутники очень маленькие и имеют неправильную форму. Орбиты спутников — круговые. Поверхности спутников усеяны небольшими кратерами. На Фобосе обнаружены загадочные борозды, пересекающие почти весь спутник. Ширина их 100—200 м, а глубина составляет от 20 до 90 м. Гипотезы по поводу происхождения этих борозд пока малоубедительны. Не объяснено и происхождение самих спутников, скорее всего, это астероиды, захваченные Марсом.

# Юпитер

*Юпитер не зря называют «царем планет»: по яркости он лишь немного уступает Венере несмотря на то, что находится во много раз дальше. Это самая крупная планета в Солнечной системе. Юпитер превосходит Землю по диаметру в 11,2 раза. Твердая поверхность в обычном понимании у Юпитера (как и у следующих за ним планет-гигантов) отсутствует. Юпитер был первой планетой, у которой обнаружили спутники, это было похоже на модель планетной системы в миниатюре.*



Так выглядит Юпитер из космоса

## Важные отличия

Планета, названная в честь верховного бога в античной мифологии (у древних греков — Зевс, у римлян — Юпитер), находится в пять раз дальше от Солнца, чем Земля. Юпитер — сильно сплюснутая планета: его экваториальный радиус на 7 % больше полярного. Сила тяжести на экваторе планеты в 2,6 раза превосходит силу тяжести на Земле. На планете не бывает смены времен года. На Юпитере обнаружено мощное магнитное поле и зарегистрирована зона наиболее интенсивной радиации на расстоянии 177 тыс. км от планеты. Там находятся ее радиационные пояса. Шлейф магнитосферы Юпитера обнаружен даже за пределами Сатурна. Юпитер движется по орбите со скоростью 13 км/с, совершая один оборот вокруг Солнца за 11,8 земных лет. Противостояния Земли и Юпитера бывают каждые 399 суток.



## Состав планеты

Основные составляющие этой планеты — водород и гелий. Соотношение этих газов по объему составляет 89 % и 11 %, а по массе — 80 % и 20 % соответственно. Вся видимая поверхность Юпитера — это плотные облака, образующие систему темных поясов и светлых зон к северу и югу от экватора. Облака создают слои коричневатых, красноватых и голубоватых оттенков, что объясняется наличием различных химических соединений. Верхний слой облачности, по-видимому, состоит из перистых облаков аммиака, а ниже находится смесь водорода, метана и замерзших кристаллов аммиака. Периоды вращения этих облачных слоев неодинаковы.

Атмосфера Юпитера имеет огромную протяженность — 1500 км, ее плотность быстро растет с глубиной. Облачный покров расположен на высоте около 1000 км над поверхностью планеты (поверхность в данном случае — условное понятие: на большой глубине газообразное состояние вещества планеты меняется на жидкое из-за высокого давления). Температура внешнего облачного покрова составляет около –130 °С. Расчеты показывают, что Юпитер должен иметь внутреннее плотное металлосиликатное ядро диаметром около 25 тыс. км. Температура в его центре составляет 23 тыс. К.

Возле Юпитера уже побывали семь космических аппаратов

## Спутники

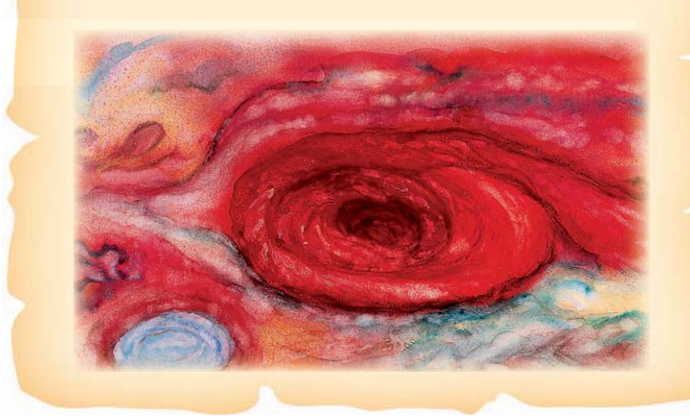
Вокруг Юпитера обращается много спутников (по данным на декабрь 2005 г., их открыто 63). Их можно разделить на две группы — внутренние и внешние. Четыре спутника внутренней группы, имеющие размеры, близкие к размерам Луны, были открыты в начале XVII в. Это Ио, Европа, Ганимед и Каллисто.

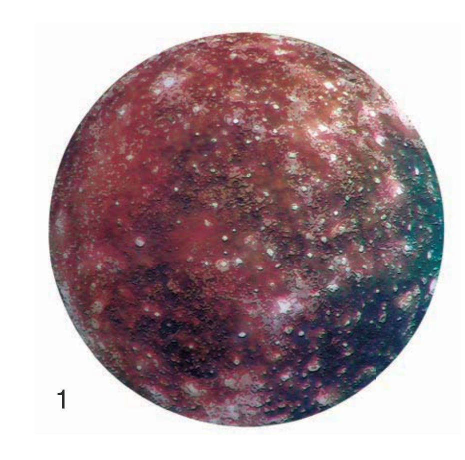
Ио — единственное космическое тело, помимо Земли, на котором наблюдаются действующие вулканы. При извержении вулканов сернистый газ и пары серы вырываются со скоростью около 1 км/с на высоту в сотни километров над поверхностью спутника. Атмосфера Ио сильно разрежена (это практически вакуум), однако за ней тянется газовый хвост.

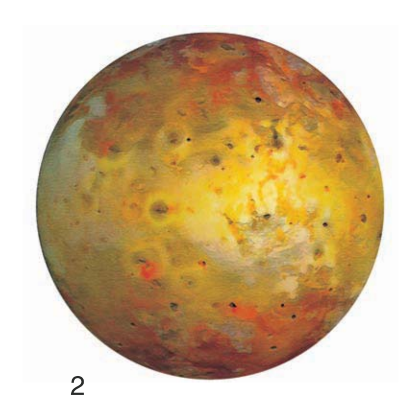
Поверхность Европы испещрена сетью светлых и темных линий, являющихся, по-видимому, трещинами в ледяной коре, образовавшимися в результате тектонических процессов. Ширина этих разломов от нескольких километров до нескольких тысяч километров. В недрах Европы выделяется энергия, которая поддерживает в жидком виде мантию — подледный океан, возможно, даже теплый (существует предположение о возможности простейших форм жизни в этом океане).

Самый крупный спутник в системе Юпитера — Ганимед. Средняя плотность его лишь вдвое превосходит плотность воды, поэтому около 50 % массы спутника, по-видимому, приходится на лед. Водяной лед составляет около 60 % массы Каллисто. Толщина ледяной коры спутника, как и у Ганимеда, оценивается в несколько десятков километров. Вся его поверхность усеяна кратерами самых разных размеров. Уникальная деталь рельефа на Каллисто — многокольцевая структура Валгалла диаметром 2600 км, состоящая из 10 концентрических колец. У Каллисто обнаружено собственное магнитное поле, предполагающее наличие металлического ядра.

**Самая известная деталь, наблюдаемая в атмосфере Юпитера, — Большое Красное Пятно — представляет собой овальное образование меняющихся размеров, расположенное в южной тропической зоне. Это долгоживущий мощный изолированный вихрь, родственный земным антициклонам. Неизвестно, когда Пятно образовалось и скоро ли исчезнет.**



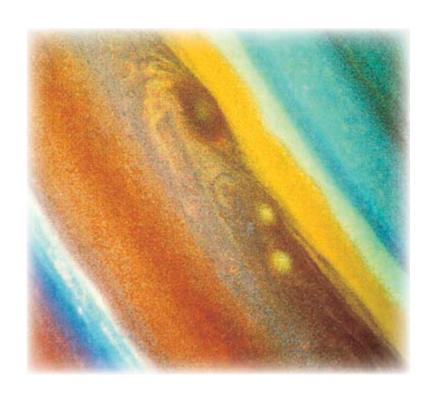




Спутники внутренней группы: 1 — Каллисто (по размерам он сравним с планетой Меркурий); 2 — Ио (самый близкий к Юпитеру)

# Сатурн

*Среди планет-гигантов Сатурн выделяется своей замечательной системой колец. Их можно наблюдать даже в небольшой телескоп. Столь красивыми и яркими кольцами больше не обладает ни одна планета. Кольца созданы несчетным количеством мелких тел, похожих на рыхлые снежные комки, вращающиеся в экваториальной плоскости планеты. Сам же Сатурн, подобно Юпитеру, представляет собой огромный быстро вращающийся шар, состоящий преимущественно из жидкого водорода и гелия.*



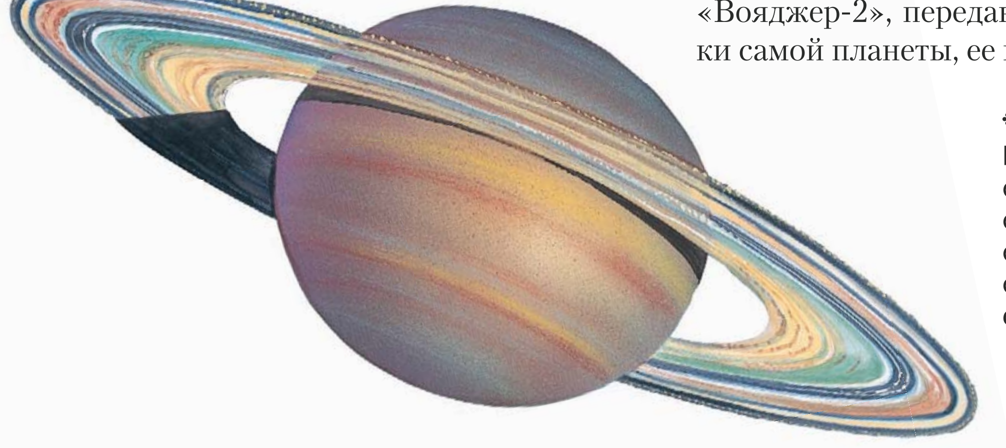
Фрагмент снимка поверхности Сатурна

## Характеристика планеты

Вторая по размеру и массе планета, названная Сатурном (римский аналог греческого Кроноса), превосходит Землю по объему в 800 раз. Средняя плотность планеты удивительно мала, меньше плотности воды — 0,7 г/см$^3$. Период вращения Сатурна составляет 10,2 ч. Обращаясь вокруг Солнца на расстоянии, в 10 раз более отдаленном, чем Земля, Сатурн совершает полный оборот по орбите, близкой к круговой, за 29,5 лет. В атмосфере Сатурна содержится 94 % водорода и 6 % гелия. Под покровом атмосферы Сатурна, как предполагают, находится океан сжиженного молекулярного водорода, а в самом центре планеты — массивное металлосиликатное ядро.

Поток солнечной энергии, доходящей до Сатурна, в 91 раз меньше потока, доходящего до Земли, поэтому температура на нижней границе облаков Сатурна составляет всего 150 К. Однако выяснилось, что поток теплового излучения, исходящий от Сатурна, в два раза превышает поток энергии, получаемой им от Солнца. Источником этой внутренней энергии может быть, как и в случае с Юпитером, гравитационная дифференциация (разделение) вещества, когда более тяжелый газ (гелий) медленно просачивается в недра планеты. Из-за низких температур в надоблачной атмосфере Сатурна, где пары аммиака вымораживаются, образуется плотный слой тумана, скрывающего структуру поясов и зон, поэтому на Сатурне они не так четко видны, как на Юпитере.

В окрестностях Сатурна побывали несколько космических аппаратов (КА). КА «Пионер-11» (США) в 1979 г. обнаружил тонкое внешнее кольцо F за пределами кольца А, измерил температуру атмосферы планеты и крупнейшего в ее системе спутника Титана, выявил границы магнитосферы Сатурна. Ближе всего к Сатурну подошел КА «Вояджер-2», передавший подробные снимки самой планеты, ее колец и спутников.



Кольца Сатурна — остатки огромного околопланетного облака, из которого образовались его спутники



Кольца состоят из комков размером до нескольких метров, покрытых инеем и льдом

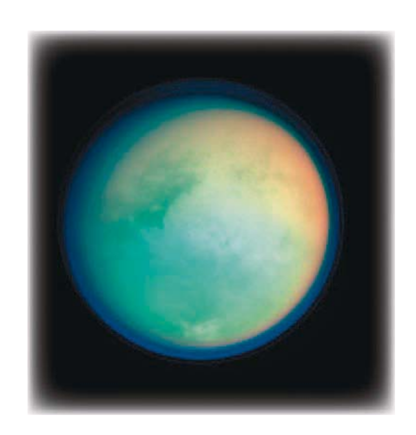
## Кольца Сатурна

Еще Галилео Галилей, наблюдая Сатурн в телескоп в начале XVII в., не мог понять, почему с двух противоположных сторон от диска планеты видны детали, похожие на выступы. Лишь через 50 лет нидерландскому ученому Христиану Гюйгенсу удалось определить, что Сатурн окружен ярким, тонким и плоским кольцом, нигде не соприкасающимся с планетой. Еще через четверть века французский астроном Жан Доменик Кассини обнаружил темную полосу, разделяющую кольцо на внешнюю и внутреннюю части. Внешнюю часть кольца назвали кольцом А, внутреннюю — кольцом В, а разделяющую их темную полосу — делением Кассини. Позже наземными наблюдениями были выявлены кольца С, D и Е. Кольца не сплошные — сквозь них может проходить свет. А еще кольца оказались удивительно тонкими — всего несколько десятков метров.

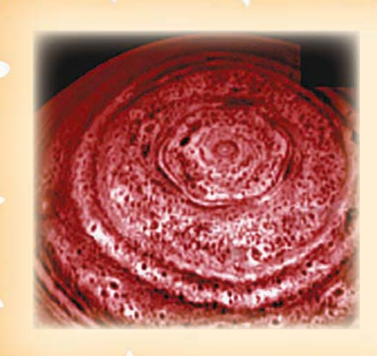
## Крупнейший спутник

Самый большой спутник Сатурна — Титан превышает по своему размеру планету Меркурий. Диаметр Титана составляет 5150 км. Этот спутник имеет собственную плотную атмосферу, которая скрывает детали его поверхности. Как и в случае с Землей, преобладающим газом в атмосфере Титана является азот.

Поверхность Титана состоит из льда с примесью силикатных пород. Средняя плотность вещества, слагающего спутник, — 1,9 г/см$^3$. Предполагается, что на Титане может быть глубокий океан из жидкого этана, метана и азота, ниже которого находится слой ацетилена толщиной до 300 м. Не исключено, что в далеком будущем на этом спутнике будут вестись промышленные разработки и доставка полезных ископаемых на Землю. К середине 1990-х гг. у Сатурна было известно 22 спутника. Позднее открыли еще более 30, однако это очень маленькие ледяные образования. Многие из этих спутников так и не получили собственных имен.



Титан был открыт в 1655 г., а впервые сфотографирован в 1979 г.



**Гигантское овальное образование размером с Землю, расположенное недалеко от Северного полюса, названо Большим Коричневым Пятном. На снимках также видны несколько коричневых пятен меньшего размера. Такие пятна представляют собой атмосферные вихри. Эти ураганные вихри быстро затихают и перемещаются вместе с атмосферными полосами. Ветры в атмосфере Сатурна действительно ураганные: их скорость в районе экватора достигает 400—500 м/с.**

# Уран

*Седьмая планета от Солнца — Уран — знаменита тем, что плоскость ее экватора наклонена к плоскости орбиты на угол 98°. Таким образом, Уран вращается, словно лежа на боку. Это первая планета, которая была открыта с помощью телескопа, что значительно раздвинуло границы Солнечной системы. До этого самой далекой планетой Солнечной системы считался Сатурн. Невооруженным глазом Уран не виден. Однако даже в телескоп на его видимом диске почти неразличимы детали.*



Из космоса Уран выглядит голубой планетой

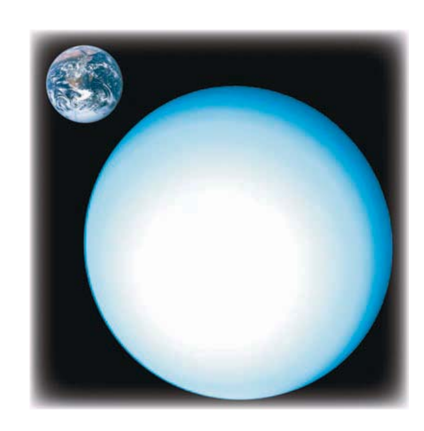
## Условия на планете

Экваториальный радиус Урана составляет 25 559 км, а полярный радиус почти на 300 км меньше. Период вращения планеты зависит от широты: на широте 70° он составляет 14 ч, а на широте 33° — 16,2 ч. Масса Урана, найденная по движению его естественных спутников, оказалась в 14,5 раза больше массы Земли, но средняя плотность планеты (1,3 г/см$^3$) лишь ненамного превышает плотность воды. Атмосфера Урана состоит более чем на 85 % из водорода, на 12 % из гелия и на 2,3 % из метана. Поскольку Уран вращается «на боку», продолжительность дня и ночи здесь значительно превышает осевой период вращения планеты: день и ночь на широте 30° длятся 14 лет, на широте 60° — 28 лет, а на полюсах — 42 года.

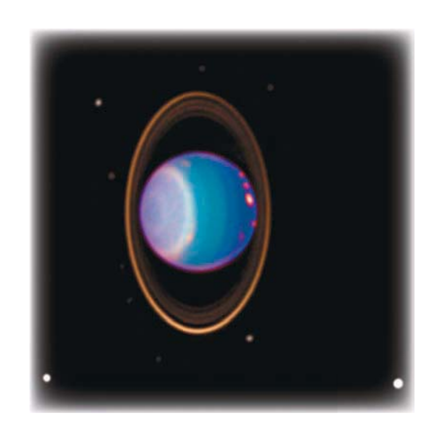
Модель внутреннего строения Урана показывает, что в центре планеты температура ниже, чем у Юпитера и Сатурна, но все же достаточно впечатляющая (более 7000 К). За ядром из сильно сжатых металлов, силикатов, льдов аммиака и метана, занимающим около 0,3 радиуса планеты, видимо, находится мантия из смеси водяного и аммиачно-метанового льдов. Видимая поверхность образована газовой оболочкой из водорода и гелия. За счет циркуляции атмосферы, а возможно, и конденсации воды в ней температура атмосферы на всех широтах Урана примерно одинакова. На уровне видимой облачной поверхности она составляет около 60 К.

В отличие от других планет-гигантов, Уран почти не имеет собственных источников энергии. Низкая метеорологическая активность Урана и слабое тепловое излучение объясняются особой динамикой атмосферы, образующей теплоизолирующий слой.

**У Урана обнаружено магнитное поле. Магнитосфера Урана имеет сложное строение. На уровне видимой облачной поверхности, где давление составляет 0,6 бара, индукция магнитного поля близка к земной. Однако магнитные полюса находятся очень далеко от полюсов географических (правильнее сказать — уранографических). Ось магнитного диполя наклонена на 59° к оси вращения и смещена к Северному полюсу на 8 тыс. км.**



Сравнительные размеры Урана и Земли: Уран больше нашей планеты в 61 раз



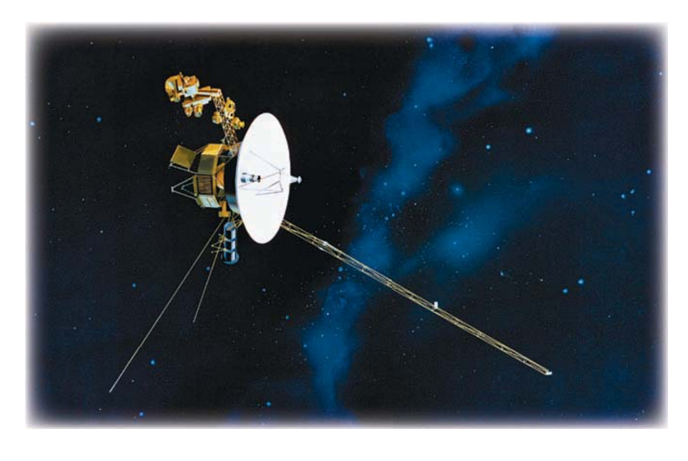
Фотография Урана и системы его колец. Яркие точки — это крупнейшие спутники Урана

## Открытие и изучение

Планета, названная по имени бога неба Урана, была случайно обнаружена в 1781 г. английским астрономом Вильямом Гершелем. Уран расположен почти в 20 раз дальше от Солнца, чем Земля.

Окружающие Уран узкие и плотные кольца (всего их девять) были открыты в 1977 г. с помощью обсерватории, находящейся на самолете «Боинг». Кольца слабо отражают солнечный свет. Внешнее кольцо шириной несколько десятков километров находится на расстоянии 51 150 км от центра планеты. Кольца состоят из глыб метровых размеров, причем в самих кольцах, по-видимому, очень мало пылевых частиц.

В окрестностях этой планеты побывал только один космический аппарат (КА) — «Вояджер-2» (в январе 1986 г.). Он сфотографировал планету, ее кольца и обнаружил неизвестные ранее спутники.



КА «Вояджер-2» был создан для исследования дальних планет Солнечной системы

## Спутники

По наземным данным были известны только пять спутников Урана: Оберон, Титания, Ариэль, Умбриэль, Миранда. По снимкам с КА «Вояджер-2» были найдены еще более 10 спутников, а к настоящему времени открыто 27 спутников Урана. Новые спутники получили названия по именам героев пьес Уильяма Шекспира и произведений Александра Поупа: Корделия, Офелия, Джульетта, Дездемона и др. Ближайший к планете крупный спутник Миранда (диаметром 400 км) был сфотографирован с близкого расстояния. На поверхности этого спутника выявлены две области чередующихся темных и светлых полос, образованных параллельными грядами и долинами, свидетельствующими о тектонической активности Миранды.

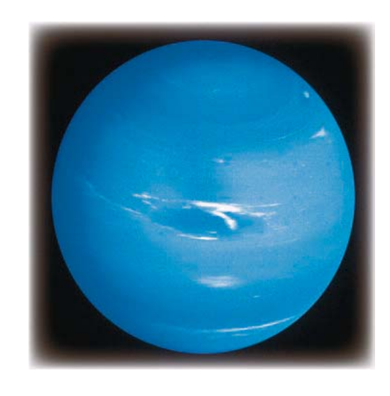
Наклон орбит спутников к плоскости орбиты Урана составляет 97,8°, т. е. они движутся практически в плоскости экватора планеты. Средняя плотность крупных спутников Урана около 1,4 г/см$^3$, поэтому предполагается, что они на 60 % состоят изо льда. Средние суточные температуры у спутников менее 60 К, а при таких температурах лед уже становится твердым минералом.




Крупнейшие спутники Урана: 1 — Миранда; 2 — Ариэль; 3 — Умбриэль; 4 — Оберон; 5 — Титания

# Нептун

*Нептун — далекая и холодная планета-гигант, ставшая первой планетой, открытой в результате теоретических расчетов по видимым возмущениям в движении планеты Уран. С Земли Нептун виден как слабая звездочка 8-й звездной величины, найти которую можно лишь с помощью хорошего бинокля. Однако это только потому, что Нептун находится очень далеко от Земли и от Солнца. Из-за большой удаленности от Солнца освещенность на Нептуне в 900 раз меньше, чем на Земле.*

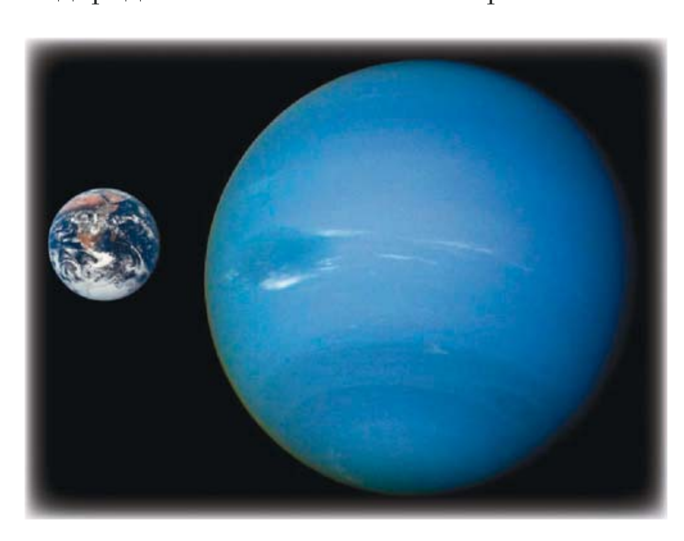


Фотография Нептуна с КА «Вояджер-2»

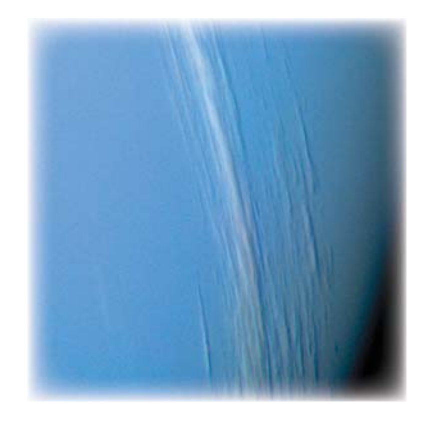
## Особенности планеты

Нептун — четвертая из планет-гигантов, названная в честь бога морей в античной мифологии. По своему строению, составу и окружающему магнитному полю эта планета очень похожа на Уран. Экваториальный радиус Нептуна почти в четыре раза превышает радиус Земли, а по массе он в 17 раз больше нашей планеты. Средняя плотность Нептуна невелика: 1,64 г/см$^3$. Нептун обращается вокруг Солнца на расстоянии около 30 а. е., совершая полный круг почти за 165 земных лет.

Атмосфера Нептуна, как и у других планет-гигантов, простирается на несколько тысяч километров и состоит в основном из водорода и гелия с небольшой примесью метана. Предполагается, что на дне атмосферы Нептуна находится океан из воды, насыщенной различными ионами. Значительное количество метана, по-видимому, содержится глубже, в ледяной мантии планеты. Даже при очень высоких температурах 2000—5000 К и давлении в 1 000 000 бар (Мбар) воды метана и аммиака могут образовать твердые или газожидкие смеси.



Диаметр Нептуна почти в четыре раза больше диаметра Земли



Участок облачного покрова Нептуна. Скорость ветра здесь может достигать 400—700 м/с

На долю ледяной мантии, согласно расчетам, должно приходиться 70 % массы всей планеты. Около четверти массы Нептуна должно иметь ядро планеты, состоящее из окислов кремния, магния, железа и его соединений, а также каменных пород. Модель внутреннего строения планеты показывает, что температура в центре планеты составляет около 7000 °С. В отличие от Урана, поток энергии, излучаемый из недр Нептуна, почти в три раза больше потока, который приходит от Солнца. Это обусловлено процессами внутреннего выделения тепла.

**Система колец Нептуна в целом похожа на систему колец Урана. На снимках КА «Вояджер-2» видны незамкнутые образования, которые назвали арками. Они расположены на сплошном самом внешнем кольце малой плотности. Диаметр внешнего кольца — почти 70 тыс. км, а ширина арок примерно 50 км. Другие кольца — замкнутые.**

## При ближайшем рассмотрении

Первым и единственным космическим аппаратом, который «посетил» Нептун, был «Вояджер-2» (США), прошедший в 1989 г. на расстоянии нескольких тысяч километров от поверхности облачного слоя планеты. Аппарат позволил увидеть детали облачного покрова Нептуна. Атмосферные полосы здесь выражены слабо.

Большое Темное Пятно размером с нашу планету, обнаруженное в Южном полушарии Нептуна, является гигантским антициклоном, совершающим полный оборот за 16 земных суток. Это область повышенного давления и температуры. В отличие от Большого Красного Пятна на Юпитере, дрейфующего со скоростью 3 м/с, Большое Темное Пятно на Нептуне перемещается значительно быстрее — со скоростью 325 м/с.

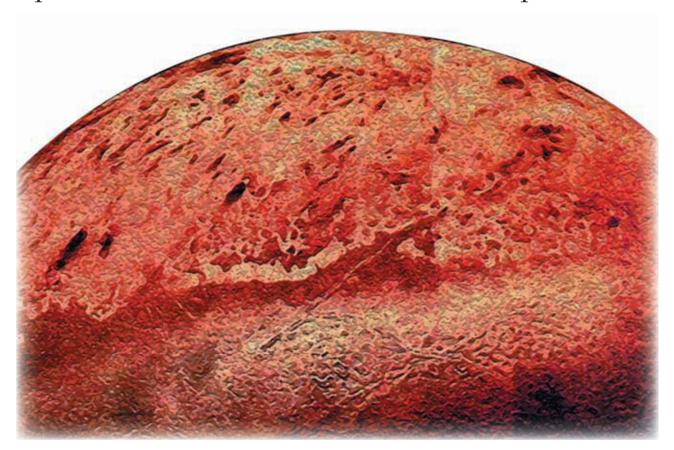


Вблизи Большого Темного Пятна ветры дуют со скоростью около 2400 км/с

## Спутники

Наблюдения с Земли позволили обнаружить два спутника Нептуна: Тритона и Нереиду. В наше время открыто уже 13 спутников. Тритон обращается вокруг Нептуна на расстоянии 355 тыс. км с периодом в шесть суток, в обратном направлении по отношению к направлению вращения планеты (это единственный подобный случай среди внутренних спутников планет). Период его осевого вращения совпадает с периодом обращения. Температура поверхности очень низкая (38 К). Предполагается, что ледяная кора толщиной около 180 км покрывает глубокий водный океан, насыщенный аммиаком, метаном, солями и ионами. Тритон оказался вторым спутником в Солнечной системе, имеющим свою постоянную атмосферу (первый — спутник Сатурна Титан). На космических снимках большая часть поверхности Тритона представляет собой равнину с множеством трещин, напоминающую дынную корку. Южный полюс спутника окружает светлая полярная шапка — это иней азота.

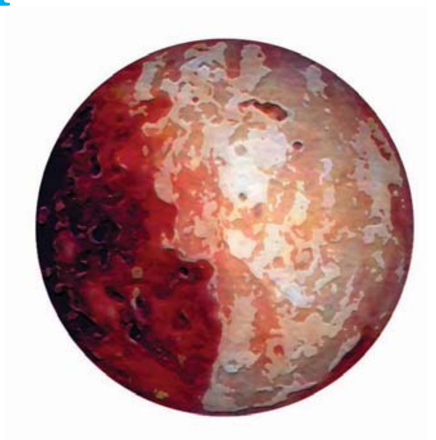
Нереида необычна тем, что движется по очень вытянутой орбите с удивительно большим периодом (360 суток). Ее орбита по форме больше похожа на орбиты комет: расстояние между планетой и спутником при его движении меняется в семь раз.



Полярная шапка из застывшего азота на Южном полюсе Тритона

# Плутон и другие карликовые планеты

*Долгое время Плутон считали одной из девяти планет Солнечной системы, хотя и очень необычной. Плутон существенно меньше Луны и скорее похож на довольно крупный астероид. Сегодня его причисляют к особым телам Солнечной системы — карликовым планетам. Это небольшие планеты, которые, в отличие от астероидов, имеют правильную шарообразную форму. Но они намного меньше обычных планет, их гравитации не хватает, чтобы «расчистить» свою орбиту от других небесных тел.*



Плутон покрыт метановым льдом

## Открытие и первые сомнения

В начале XX в. астрономы, наблюдая за Ураном и Нептуном, предположили, что дальше этих планет от Солнца существует еще одна планета, гравитационное влияние которой сказывается на особенностях движения двух данных планет. Были организованы систематические поиски неизвестной планеты, но лишь в 1930 г. она была обнаружена молодым американским астрономом Клайдом Томбо и названа в честь бога подземного мира. Плутон был причислен к планетам Солнечной системы, хотя уже тогда его планетный статус вызывал у ученых некоторые сомнения.

Вдобавок к своей не совсем подобающей для планет орбите Плутон оказался единственной двойной планетой. Его спутник Харон, открытый в 1978 г., имеет диаметр ок. 1190 км, в то время как диаметр Плутона лишь вдвое больше — ок. 2280 км. Харон отстоит от Плутона на 19 400 км, и обе планеты вращаются вокруг общего центра масс, который находится над поверхностью Плутона. В 2005 г. система Плутона и Харона пополнилась еще двумя спутниками, открытыми космическим телескопом «Хаббл» и получившими имена Гидра и Никта. Их размеры невелики и, по предварительным оценкам, не превышают 150 км. Гидра отстоит от Плутона примерно на 65 тыс. км, а Никта — на 50 тыс. км.

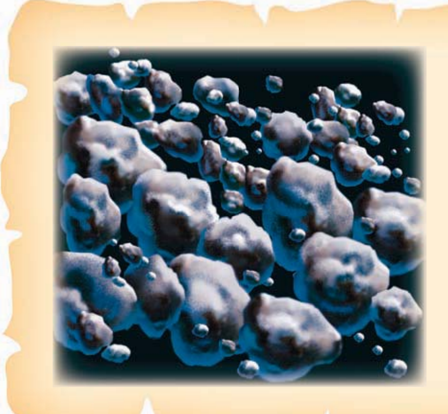


Система Плутон — Харон похожа на систему Земля — Луна

## Что мы знаем о Плутоне?

Плутон — типичный обитатель окраин Солнечной системы. Это мир вечного холода и сумрака: на небосводе Плутона Солнце видно как ослепительно яркая звезда, от которой к Плутону приходит в 1600 раз меньше света, чем к Земле. Орбита Плутона значительно более вытянута, чем у «больших» планет. В перигелии расстояние до Солнца составляет 29,6 а. е., и Плутон подходит к Солнцу ближе, чем Нептун. А в афелии он удаляется от нашего светила почти вдвое дальше — на 49,2 а. е.

Измеряя интенсивность отраженного Плутоном света, ученые установили, что его видимый блеск периодически изменя-



**Характеристики Плутона очень похожи на характеристики других небесных тел из пояса Койпера, которые вращаются вокруг Солнца, находясь за орбитой Нептуна. Это в основном ледяные глыбы, а также основательно «подмороженные» астероиды и карликовые планеты — строительный «мусор», оставшийся со времен образования Солнечной системы и оттесненный на ее задворки. Плутон — лишь первый из обнаруженных объектов этого пояса, хотя и один из самых крупных.**

ется. Этот период, составляющий 6,4 суток, был принят за период осевого вращения Плутона. Время на Плутоне течет неспешно: один оборот вокруг Солнца занимает 247,7 земных лет.

На Плутоне, возможно, есть атмосфера. Основной ее составляющей, должно быть, является азот, из других компонентов возможно наличие метана, аргона и неона. Толщина слоя дымки оценивается в 45 км, а толщина самой атмосферы — почти в 300 км.

Наши знания об одном из самых далеких тел Солнечной системы пока еще очень скудны. Но в июле 2015 г. рядом с Плутоном должна пролететь американская космическая станция «Новые горизонты». Она была запущена в ночь с 19 на 20 января 2006 г., и только за шесть с половиной лет сумеет добраться до окраин нашей звездной системы.

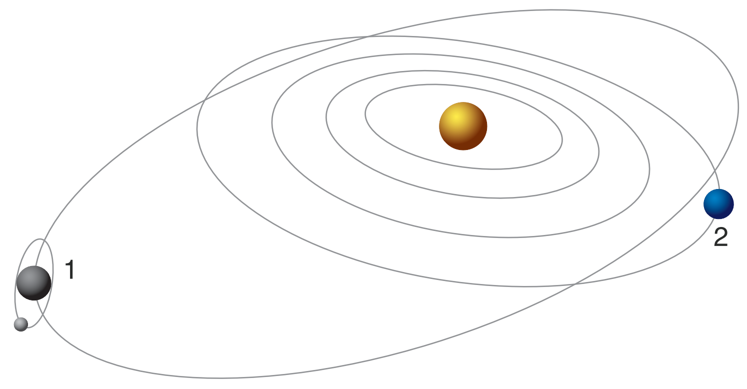



Схема расположения орбит Плутона (1) и Нептуна (2) по отношению к Солнцу

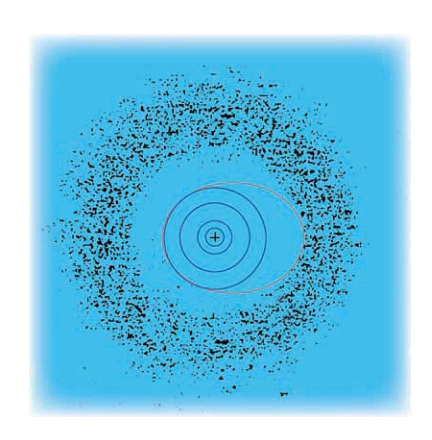


Схема расположения пояса Койпера (35—50 тыс. а. е. от Солнца)

## Карликовые планеты

Среди астрономов крепло убеждение, что «чистое небо» за орбитой Нептуна отнюдь не так уж и «чисто»: там находится пояс из еще не открытых небесных тел. Первый транснептуновый объект был открыт в 1992 г. Сразу последовал вопрос — причислять ли его к планетам? В марте 1993 г. было обнаружено второе небесное тело, к 1996 г. их количество возросло до 32, а на сегодня открыто около тысячи транснептуновых объектов!

Эти объекты образуют пояс, известный как пояс Койпера. Оказалось, что по меньшей мере одна из новых планеток — Эрида обогнала Плутон и по размеру, и по массе. Астрономы встали перед выбором: либо увеличивать список планет Солнечной системы (неизвестно на сколько), либо «пожертвовать» Плутоном. Выбор был сделан. Для Плутона и других подобных ему планеток ввели особый класс карликовых планет. На сегодня в нем пять объектов, среди них — бывший самый крупный астероид Церера.

# Малые тела Солнечной системы

*Основная часть массы Солнечной системы (99,87 %) сосредоточена в ее центральном теле — Солнце. В состав Солнечной системы кроме Солнца, разных планет и их спутников входят так называемые малые тела — кометы, астероиды и еще более мелкие метеорные тела. Некоторые из них сталкиваются с Землей, создавая обмен веществом между нашей планетой и космическим пространством. Комплекс малых тел — важная часть Солнечной системы, связанная общностью происхождения.*



Ежегодный метеорный поток Леониды

## Классы малых тел

Именно Солнце обеспечивает единство всей системы, поскольку другие тела движутся по своим орбитам в поле его тяготения. Среди этих тел — восемь больших планет, почти у всех планет есть спутники. Однако существуют и более мелкие тела, которые испытывают тяготение Солнца и не могут покинуть его окрестности.

Это прежде всего малые планеты — астероиды. Осколки раздробившихся при столкновении астероидов иногда падают на Землю — это метеориты. Ввиду малых размеров ни один астероид нельзя увидеть невооруженным глазом. Другой класс малых тел — кометы — также имеет незначительные массы, но их вещество может быть распределено по очень большому объему, и поэтому они иногда наблюдаются на небе в виде весьма протяженных объектов. Мелкие космические частицы порождают явление «падающих звезд», или метеоров, — это тоже часть комплекса малых тел Солнечной системы. Определенная доля вещества метеоров генетически связана с кометами. В Солнечной системе имеются частицы еще мельче, речь идет о межпланетной пыли. Число межпланетных пылинок огромно, но общая их масса в миллиард раз меньше массы Земли!



Смоделированное на компьютере столкновение огромного метеорита с Землей

## Встречи с Землей

Небольших тел в Солнечной системе так много, что наша планета систематически сталкивается с некоторыми из них. Атмосфера надежно прикрывает поверхность Земли от воздействия самых мелких тел: метеорные частицы полностью сгорают в ней, и даже более крупные частицы, порождающие метеориты, целиком теряют в атмосфере свою космическую скорость. За редчайшими исключениями их падение не вызывает катастрофических последствий.

Однако случались столкновения Земли и с более крупными телами, скорость которых атмосфера погасить уже не может. Разумеется, это происходит очень редко. Самым крупным космическим телом, столк-



Большая комета Хейла-Боппа максимально приблизилась к Земле в марте 1997 г.

нувшимся с Землей в течение последнего столетия, был, по-видимому, Тунгусский метеорит. Он упал 30 июня 1908 г. в безлюдной сибирской тайге. В свое время были попытки рассматривать падение Тунгусского метеорита в одном русле с «аномальными явлениями», наподобие полетов НЛО или встреч с инопланетянами. Однако в данном случае мы имеем не только показания очевидцев, но и объективные данные приборов, которыми зарегистрировано явление падения метеорита. Скорее всего, Тунгусский метеорит — результат встречи Земли с ядром небольшой старой кометы.

Последствия таких столкновений — это катастрофы, местные и даже глобальные. Поэтому сейчас специалисты разрабатывают методы их предотвращения. Работа по предотвращению космических катастроф состоит из двух взаимосвязанных задач. Во-первых, важно обнаружить опасное тело на возможно большем расстоянии от Земли. Вторая задача — это уничтожение опасного тела (например, с помощью ядерного заряда) либо отклонение его с опасной орбиты. По мере технического прогресса эти возможности могут быть реализованы.

## Значимость изучения

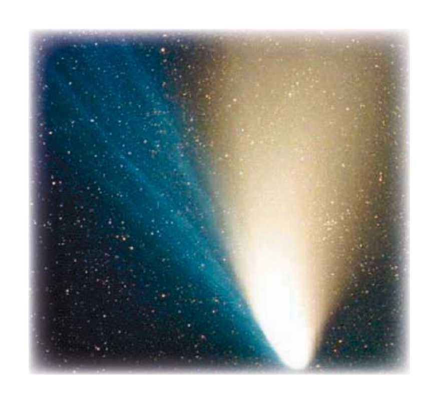
На ранних этапах эволюции нашей планеты падение крупных тел давало заметный прирост ее массы. Вещество малых тел отличается от планетного вещества, оно более близко к первичному веществу Солнечной системы. Хотя все тела, составляющие Солнечную систему, произошли из одного и того же газопылевого облака, в крупных телах это вещество прошло длительный эволюционный путь. Оно плавилось, разделялось по плотности, преобразовывалось под действием высоких температур и давлений. Изучение малых тел позволяет решить многие важные вопросы, связанные с происхождением и эволюцией подобных систем.

**Динозавры исчезли с лица Земли за очень короткий промежуток времени. Их кости встречаются только в геологических слоях старше 65 млн. лет, а в более поздних — никогда. Оказалось, что в некоторых местах эти слои разделены тонкой прослойкой, обогащенной иридием, крайне редким в земных горных породах, но распространенным в космических телах. Возникло предположение, что около 65 млн. лет назад Земля подверглась космической бомбардировке, поднявшей в атмосферу тучи пыли. Уменьшился доступ для солнечных лучей, погибли растения, которыми питались динозавры, а затем вымерли и они сами.**



# Кометы

*В отличие от других небесных тел, кометы имеют необычный внешний вид и иные, чем у планет, орбиты. Их часто называют «хвостатыми гостями», ведь некоторые кометы могут наблюдаться только раз в тысячелетие, а то и реже. Тем не менее эти удивительные космические объекты принадлежат нашей Солнечной системе. В древности появления на небе чудовищных светил расценивались как предвестия грядущих несчастий. Отголоски этих суеверий встречаются и в наше время.*



Появление кометы — очень яркое зрелище

## Орбиты комет

Лишь в конце XVII – начале XVIII в., во времена Ньютона и Галлея, с помощью точных наблюдений были получены достоверные данные о движении комет. До этого даже великий «законодатель неба» Иоганн Кеплер, правильно определивший орбиты планет как эллипсы, считал, что кометы движутся по прямолинейным путям.

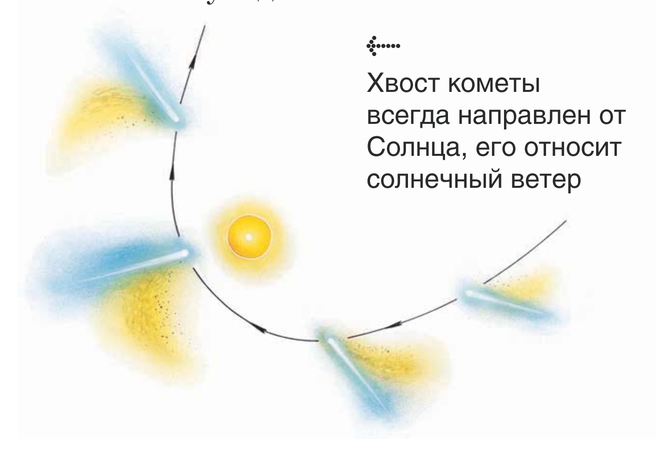
На самом деле оказалось, что орбиты комет тоже эллиптические. В одном из фокусов эллипса находится Солнце. Однако если эллипсы планетных орбит вытянуты очень слабо (орбиты почти круговые), то кометы движутся по сильно вытянутым орбитам. В результате комета на своем пути то очень близко подходит к Солнцу, то удаляется от него на большие расстояния.




Появление кометы. Сюжет на тканом ковре из Байё. Конец XI в.

## Комета Галлея

В 1705 г. Эдмонд Галлей опубликовал рассчитанные им по теории Исаака Ньютона элементы орбит 24 комет. Среди них оказались три кометы с весьма схожими орбитами: комета 1682 г., которую наблюдал сам Галлей, комета 1607 г., наблюдавшаяся Иоганном Кеплером, и комета 1531 г., отмеченная немецким астрономом Апианом. Галлею принадлежит догадка о том, что это были разные появления одной и той же кометы, и предсказание, что она появится вновь в 1858 г. Таким образом, он ввел в научный оборот целый класс новых объектов – кометы. Комета появилась в 1859 г., астрономы объяснили ее «опоздание» влиянием тяготения гигантских планет – Юпитера и Сатурна. Эта самая известная из комет носит имя Галлея. В 1910 г. знаменитая комета Галлея оказалась как раз между Солнцем и Землей, так что наша планета прошла сквозь кометный хвост. Затем она появилась в 1986 г., в очередной раз жители Земли увидят ее в 2061 г.

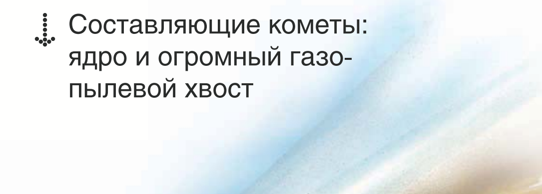


Хвост кометы всегда направлен от Солнца, его относит солнечный ветер

## Жизнь и смерть кометного ядра

В соответствии с законами небесной механики скорость движения велика вблизи Солнца и мала вдали от него. Поэтому комета очень значительную часть времени проводит на отдаленном участке орбиты. Большинство комет уходит далеко за пределы орбиты Плутона. Лучшая видимость кометы при ее сближении с Солнцем обусловлена не сокращением расстояния до него и до Земли, а происходящими на комете физическими процессами.

Твердая часть кометы, в которой сосредоточена основная доля ее массы, называется ядром. Это — тело небольшого размера, поперечники кометных ядер не превышают, как правило, нескольких десятков километров. Исследования показали, что ядра комет состоят преимущественно из льдов, к ним относятся не только водяной лед, но и замерзшие газы — углекислый газ, разные углеводороды. В них вкраплены мелкие песчинки и пылинки тугоплавкого каменистого вещества. Пока ядро находится в очень холодных внешних областях Солнечной системы, оно неактивно и обнаружить его трудно. По мере того как комета по своей орбите приближается к Солнцу, ядро нагревается солнечными лучами, газы начинают испаряться и выбрасываются из ядра, увлекая с собой и твердые пылинки. У кометы образуется газовая оболочка — так называемая голова, размеры которой достигают сотен и тысяч километров.



Составляющие кометы: ядро и огромный газо-пылевой хвост

Дальнейшую судьбу выброшенного вещества определяет в основном солнечный ветер — поток высокоскоростных частиц, непрерывно выбрасываемых Солнцем. Взаимодействуя с веществом головы кометы, он заставляет это вещество вытягиваться в сторону, противоположную Солнцу. Так появляется кометный хвост, простирающийся на миллионы километров. Эти протяженные образования хорошо заметны с Земли, хотя содержат ничтожно малое количество вещества (один из астрономов справедливо назвал кометные хвосты «видимым ничто»).

В дальнейшем солнечный ветер «выметает» за пределы Солнечной системы самые легкие из выброшенных частиц — молекулы газов и мельчайшую пыль. Более тяжелые частицы постепенно «расползаются» и образуют метеорный рой. При встрече этого роя с Землей происходит явление метеорного потока, наблюдаемое как большое число «падающих звезд». Вместе с тем само ядро, теряя вещество в результате выбросов, уменьшается в размерах, дробится и в конце концов сходит на нет. Для комет, регулярно сближающихся с Солнцем раз в несколько десятилетий, срок жизни кометного ядра не превышает миллиона лет — это очень небольшое время в сравнении с огромным возрастом Солнечной системы в целом.



Хвост кометы может достигать в длину несколько миллионов километров

## Ядро кометы

Первая попытка измерить размер кометного ядра была предпринята в 1910 г., когда комета Галлея оказалась точно между Солнцем и Землей. Русский астроном Витольд Карлович Цераский (1849—1925) попытался разглядеть ядро на диске Солнца. Но ядро увидеть не удалось. При следующем сближении кометы Галлея с Землей, в 1986 г., космические аппараты, запущенные СССР и Европейским космическим агентством, сблизились с ядром и передали на Землю его изображение. Оказалось, что ядро имеет неправильную форму, его наибольший поперечник равен 16 км.

По современным представлениям, кометные ядра обитают в обширной области, простирающейся на несколько десятков тысяч астрономических единиц от Солнца. Ее называют кометным облаком Оорта — по имени голландского астронома, выдвинувшего эту идею. Большая часть ядер медленно движется вдалеке от Солнца, но движение некоторых из них может быть возмущено проходящими неподалеку звездами, ядро может перейти на близкую к Солнцу орбиту и стать наблюдаемым.



Ядро кометы Уайлд-2. Фото космического аппарата «Стардаст». 2004 г.

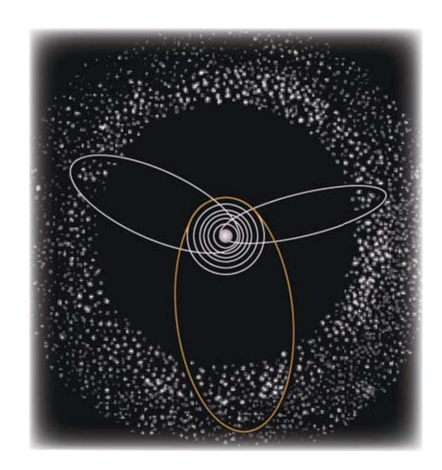


Схема расположения облака Оорта и орбиты нескольких комет

## Типы кометных хвостов

Теорию форм кометных хвостов разработал в XIX в. известный русский астроном Федор Александрович Бредихин (1831—1904). Введенная им классификация форм используется до сих пор. Бредихин предложил выделять кометные хвосты четырех основных типов.

К хвостам первого типа он отнес тонкие прямолинейные голубоватые хвосты, направленные точно в сторону, противоположную Солнцу. Оказалось, что они состоят из газов и имеют собственное свечение — результат взаимодействия кометного вещества с частицами солнечного ветра.

Хвосты второго типа — беловатые, слегка изогнутые; их спектр в основном повторяет спектр Солнца, следовательно, они лишь отражают солнечный свет. Эти хвосты составлены твердыми пылевыми частицами.

Хвосты третьего типа в общем похожи на хвосты второго, но более короткие и сильнее отклонены по направлению от Солнца.

Наконец, бывают «аномальные» хвосты четвертого типа, направленные в сторону Солнца. Входящие в них твердые частицы имеют относительно большую массу, и ни солнечный ветер, ни давление солнечных лучей не могут сильно отклонить их от направления, в котором они были выброшены из ядра.

Все перечисленные типы хвостов — пылевые. Интересным может считаться такой факт, что одна и та же комета может одновременно иметь хвосты разных типов.

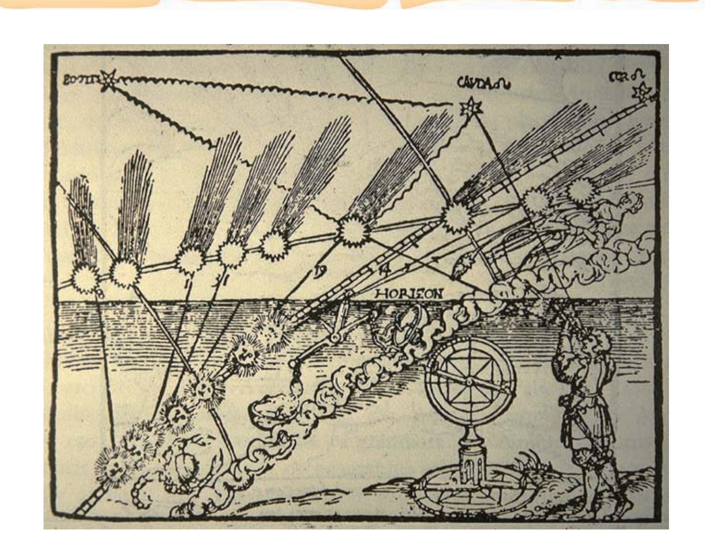


**До сих пор значительную часть новых комет открывают любители астрономии. Интерес к такому занятию подогревается тем, что человек, открывший новую комету, получает возможность дать ей свое имя. Многие «ловцы комет» прошлого и настоящего открыли не по одной, а по нескольку комет. В 1998 г. Международный астрономический союз объявил о награждении любителей астрономии, которым удалось открыть новую комету.**

## Изменение орбиты

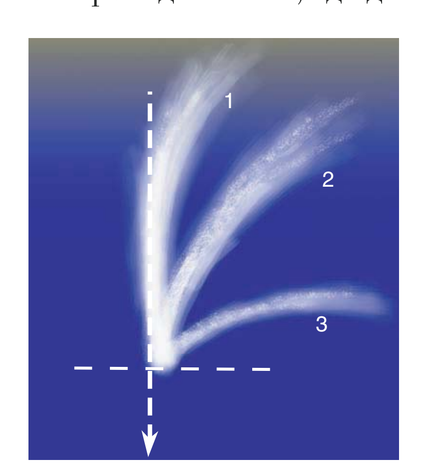
Среди комет обнаружили несколько таких, которые движутся по разомкнутым орбитам (гиперболам). Это значит, что после сближения с Солнцем они навсегда покинут Солнечную систему. Возникает вопрос: являются ли кометы изначальными членами Солнечной системы или они приходят к нам извне, из межзвездного пространства, и лишь «захватываются» Солнечной системой? Решение этой проблемы связано с анализом скоростей, с которыми движутся кометы в Солнечной системе. Если бы кометы были частью межзвездного вещества, их средняя скорость соответствовала бы той скорости, с которой движется в Галактике наше Солнце, а это существенно большая величина. Так что кометы — это члены Солнечной системы.

Почему же некоторые из них получили скорости, достаточные для того, чтобы эту систему покинуть? Вспомним, что путь комет пересекает значительные пространства, он проходит и там, где движутся массивные планеты. Если происходит тесное сближение кометы с большой планетой, та своим тяготением может повлиять на скорость движения кометы, что приведет к существенному изменению кометной орбиты. Ее скорость может как возрасти, так и уменьшиться; орбита может уменьшиться в размере или вообще стать разомкнутой.




Наблюдение за движением кометы 1532 г. Старинная гравюра

Иногда происходят и более радикальные изменения. У одной из комет (кометы Леви—Шумейкеров-9, названной по именам американских астрономов, ее открывших) орбита изменилась таким образом, что она стала обращаться уже не вокруг Солнца, а вокруг Юпитера; приливные силы разорвали ядро на несколько частей, и все эти части в конце концов упали в августе 1997 г. на Юпитер. Астрономам удалось пронаблюдать эту космическую катастрофу.




Формы хвостов:
1 — прямой;
2 — изогнутый;
3 — короткий

# Метеоры

*Метеоры иногда называют «падающими звездами»: многим случалось видеть яркую огненную черту, прорезающую ночной небосвод. Но «падающие звезды» не имеют отношения к звездам настоящим. Метеоры — это космические явления, доступные наблюдению с Земли. Они порождаются космическими частицами, влетающими с огромной скоростью в земную атмосферу и там сгорающими. Иногда на небе можно наблюдать сразу очень много метеоров — тогда говорят о метеорном дожде.*



Фотография метеорита из потока Персеиды

## Метеорный дождь

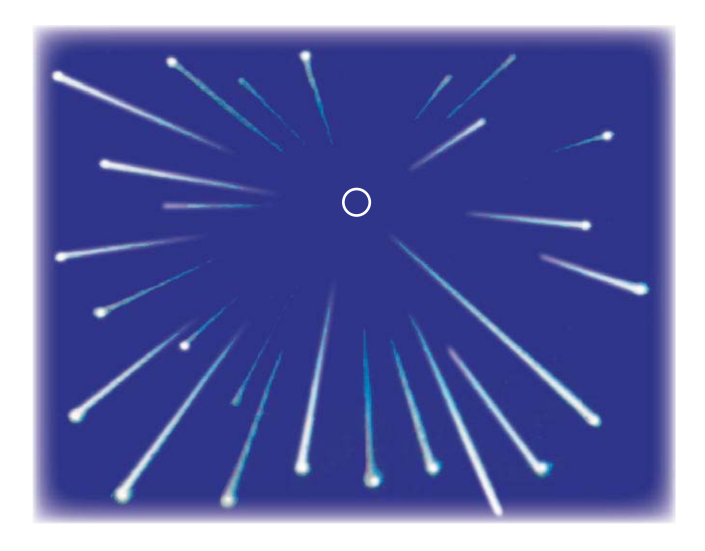
Впервые метеорный дождь описал немецкий естествоиспытатель и путешественник Александр Гумбольдт, который наблюдал его в ноябре 1799 г. у берегов Южной Америки. Гумбольдт обратил внимание на то, что все метеоры в метеорном дожде словно вылетали из одной точки на небе. Эту точку назвали радиантом, а само явление разлета из одной точки — радиацией метеоров. Радиант наблюдавшегося Гумбольдтом метеорного дождя находился в созвездии Льва и перемещался вместе со звездами при суточном вращении небесной сферы.

В 1832 г. метеорный дождь повторился. Опять множество метеоров летело из того же радианта, причем это случилось того же числа — 17 ноября. Подобная картина повторилась и в 1866 г. К середине XIX в. стало известно еще несколько радиантов, «действовавших» ежегодно. Так, в августе метеоры летели из созвездия Персей, в апреле — из созвездия Лира и т. д.

Подобная радиация метеоров требовала объяснения. Выяснилось, что это явление — кажущееся, связанное с оптическим эффектом перспективы. Например, если смотреть вдоль железнодорожного полотна, параллельные на самом деле рельсы кажутся сходящимися в одну точку на горизонте. Так и светящиеся пути метеоров, движущихся параллельно друг другу, выглядят исходящими из одной точки на небе — радианта. Совокупность метеоров, вылетающих из одного радианта, называется метеорным потоком. Радиант, таким образом, характеризует направление движения всех метеоров потока.



Дождь падающих звезд. Гравюра А. Дюрера из серии «Апокалипсис». XV в.



Радиант метеорного потока (отмечен кружочком)

## Природа метеоров

В 1867 г. итальянский астроном Джованни Скиапарелли установил, что орбита одного из метеорных потоков совпадает с орбитой одной из комет. Стало ясно, что метеорные потоки порождаются кометами.

Любое кометное ядро содержит вкрапленные в лед мелкие твердые частицы. Когда комета сближается с Солнцем, льды испаряются и покидают ядро, частично увлекая с собой и эту пыль. Известно, что некоторые кометные хвосты целиком состоят из таких пылевых частиц. Скорость выброса частиц из ядра намного меньше, чем орбитальная скорость самого ядра, поэтому приобрести совершенно самостоятельную орбиту частицы не могут. Они «расползаются» вдоль орбиты кометы и заполняют объем некоего размытого «бублика» (тора, как говорят в геометрии), осью которого является орбита кометы. Если Земля в своем движении вокруг Солнца пересекает какую-то часть этого тора, наблюдается метеорный поток. Ровно через год Земля снова окажется в том же месте своей орбиты и поток повторится.

Исследования метеоров показали, что подавляющее большинство их орбит полностью лежит в пределах Солнечной системы. Этот факт очень важен для науки. Он говорит о том, что метеорные частицы не приходят к нам из межзвездного пространства, а являются членами Солнечной системы и связаны с ней общим происхождением.

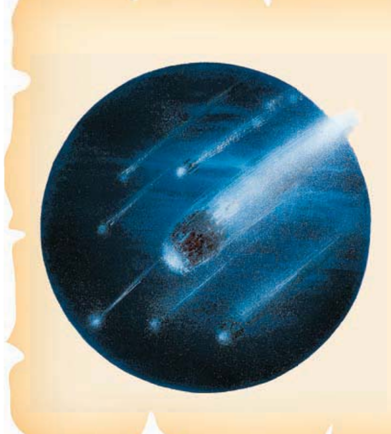


Хвост кометы иногда расползается на полнеба, и это лишь видимая его часть

## Что дают наблюдения?

Многие важные и интересные результаты в метеорной астрономии получены любителями. Предпочтительно, чтобы наблюдения метеорного потока производил не один человек, а группа. Ученые пользуются особыми метеорными фотокамерами с широким полем зрения и большой светосилой (значительная часть метеоров — очень слабо светящиеся объекты).

С помощью наблюдений можно определить скорости метеоров, рассчитать орбиту метеорного тела в Солнечной системе. Анализ спектров позволяет судить о химическом составе метеорных тел. Известно, что в спектрах метеоров имеются линии железа, что говорит о родстве этих тел с метеоритами. Обнаружена и линия водорода, который в изобилии содержится в кометных ядрах. Это свидетельствует о генетической связи малых тел Солнечной системы.



**Метеорным потокам принято давать имена по латинским названиям тех созвездий, в которых лежат их радианты. Если радиант в Лире — это Лириды, в Персее — Персеиды, во Льве — Леониды. Если в одном созвездии действует несколько радиантов, прибавляют обозначение ближайшей к радианту яркой звезды. Активность метеорного потока принято характеризовать количеством доступных наблюдению невооруженным глазом метеоров, появляющихся в течение одного часа. У самого активного постоянного потока Персеиды это число в эпоху максимума составляет около 60 метеоров в час.**

# Астероиды

*Кроме восьми больших планет вокруг Солнца обращается множество малых планет, или астероидов. Их размеры колеблются от нескольких десятков метров до 1000 км. Астероиды нельзя увидеть с Земли невооруженным глазом, они стали известны с XIX в. с появлением точных звездных карт и мощных телескопов. Значительная часть астероидов движется между орбитами Марса и Юпитера, но некоторые подходят к Солнцу ближе Меркурия, а другие удаляются от него дальше Сатурна.*

Движение тел в поясе астероидов

## Как их обнаружили?

Когда астрономы научились рассчитывать размеры планетных орбит и смогли изобразить общий план Солнечной системы, выявилась интересная закономерность. Оказалось, что расстояния планет от Солнца увеличиваются от одной планеты к другой не произвольным образом, а в геометрической прогрессии. При этом астрономов удивило отсутствие планеты, которая должна была бы находиться между орбитами Марса и Юпитера.

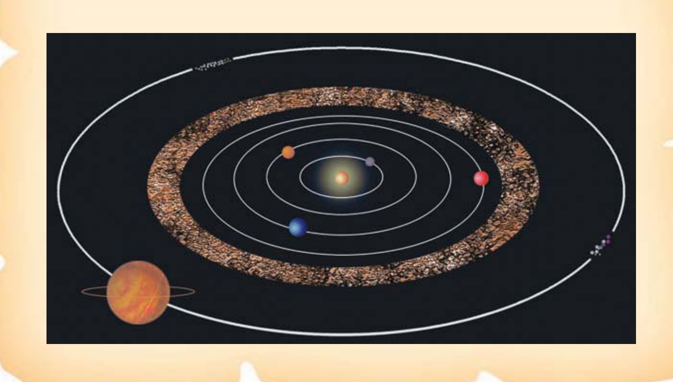
В XIX в. итальянский астроном Джузеппе Пиацци (1746—1826) обнаружил в искомом месте светило, перемещавшееся на фоне неподвижных звезд и, следовательно, являвшееся планетой. Пиацци дал ей имя римской богини плодородия Цереры. В 1802 г. немецкий астроном Генрих Вильгельм Ольберс (1758—1840) открыл рядом с Церерой еще одну планету, он назвал ее Палладой. Затем в 1804 и 1807 гг. были открыты еще две планеты — Веста и Юнона в том же районе Солнечной системы.

Когда астрономы начали применять для своих целей фотографию, открытия посыпались как из рога изобилия: к началу XX в. там, где сто лет назад в плане Солнечной системы зияла непонятная пустота, было обнаружено уже более 400 планет! Впрочем, все они оказались очень маленькими: ни у одной из них нельзя было различить диск. Поэтому их стали называть астероидами (от греч. «астероидеис» — «звездоподобные»).



Астероид Гаспра размерами 20×12×11 км был сфотографирован в 1991 г. аппаратом «Галилей»

**Астероиды, орбиты которых расположены (хотя бы частично) ближе к Солнцу, чем внутренняя граница пояса астероидов, принято делить на несколько групп: астероиды группы Амура, группы Аполлона и группы Атона. Астероиды группы Амура приближаются к земной орбите, не пересекая ее. Группу Аполлона составляют астероиды, небольшая часть орбиты которых лежит внутри орбиты Земли. Астероиды группы Атона большую часть времени проводят внутри земной орбиты. Очевидно, что астероиды двух последних групп теоретически могут столкнуться с нашей планетой.**



## Движение астероидов

Большая часть известных астероидов движется между орбитами Марса и Юпитера, составляя так называемый пояс астероидов, однако есть и исключения. В начале XX в. были открыты астероиды, орбиты которых почти совпадали с орбитой Юпитера. Современные наблюдательные средства на космических аппаратах позволили установить наличие комплекса астероидов за орбитой планеты Нептун. По-видимому, они образуют там пояс, похожий на пояс астероидов между орбитами Марса и Юпитера, только значительно более широкий. Его называют поясом Койпера — по имени американского ученого, предсказавшего его существование еще в середине XX в. С другой стороны, имеются астероиды, подходящие к Солнцу ближе, чем Меркурий.

Помимо движения по орбитам астероиды обладают и собственным вращением. Этот факт был впервые установлен по периодическим изменениям блеска некоторых астероидов, а потом подтвержден фотосъемкой с космических аппаратов. Периоды вращения астероидов лежат в пределах от 2—3 ч до нескольких суток.

Факт периодического изменения блеска говорит и о неправильной форме астероидов. Сила тяжести на маленьких телах слишком ничтожна для того, чтобы придать им шарообразную форму. У некоторых астероидов есть спутники еще меньшего размера. Впервые такой спутник был обнаружен у астероида Ида; размер спутника, которому дали имя Дактиль, чуть больше 1 км.





Астероиды Ида и Матильда, сфотографированные космической станцией NEAR



Американская космическая станция NEAR, созданная для исследования астероидов

## Загадки пояса астероидов

Обилие тел в поясе астероидов ставит вопрос об общности происхождения хотя бы некоторых из них. Не являются ли некоторые астероиды продуктами дробления более крупного тела? Одно время выдвигалось предположение, что на месте пояса астероидов существовала планета, ей даже придумали имя — Фаэтон. Потом она якобы распалась или взорвалась. Сегодня никто из специалистов такую гипотезу не поддерживает. Во-первых, общая масса всех астероидов (включая и неоткрытые) слишком мала, чтобы образовать планету. Во-вторых, вещество метеоритов разных типов, упавших на Землю, таково, что нельзя считать его рожденным в одном и том же теле.

Главный пояс астероидов словно разделяет два типа планет Солнечной системы: ближе к Солнцу находятся планеты земной группы, а за пределами пояса — планеты-гиганты. Почему же на месте пояса не образовалась нормальная большая планета? Большинство современных исследователей полагают, что, когда в Солнечной системе шел процесс объединения вещества в планетные тела, достигший большой массы Юпитер своим мощным тяготением помешал находившимся по соседству более мелким телам соединиться в одну планету.

# Метеориты

*Факты падения с неба камней и кусков металла (позже их стали называть метеоритами) известны с глубокой древности. Но даже в XVIII в. такие явления относили к народным суевериям, поскольку среди известных в ту пору небесных тел не находили возможного источника этого «материала». Сейчас метеориты считают осколками малых планет — астероидов. До недавнего времени метеориты были единственными образцами внеземного вещества, доступными лабораторному исследованию.*



Метеорит, упавший у города Великий Устюг

## Как падает метеорит?

При столкновении астероиды дробятся, орбиты осколков меняются под влиянием сил тяготения и некоторые из них пересекают орбиту Земли — тогда встреча их с нашей планетой становится неизбежной. Падение метеорита — явление очень редкое. Если полет метеора может увидеть каждый человек, то яркие метеориты наблюдали очень немногие люди. Это связано с тем, что метеориты как более массивные тела встречаются в космосе гораздо реже, чем мелкие метеорные частицы. Сфотографировать падение метеоритов пока удалось всего трижды.

Падение метеорита сопровождают яркие световые и акустические явления, причина которых — взаимодействие летящего с огромной скоростью тела с атмосферой Земли. Трение о воздух разогревает метеорит и заставляет светиться, возникает явление метеора, но очень яркого — его называют болидом. Болиды видны даже днем. Если вещество обычного метеора полностью испаряется в атмосфере, то масса тел, порождающих метеориты, достаточно велика, часть тела достигает поверхности Земли. Атмосфера целиком гасит его космическую скорость, и встреча с Землей происходит при скорости в десятки метров в секунду — тело при ударе чаще всего даже не разбивается на куски. Иногда, впрочем, давление воздуха дробит тело еще в атмосфере — тогда говорят о метеоритном дожде.

## Внешний вид

Только что упавшие метеориты довольно горячие, но быстро остывают. Дело в том, что повышение температуры при трении об атмосферу не затрагивает глубинных слоев метеорита: разогревается только наружный слой, образуя расплавленную пленку. Когда скорость метеорита падает, пленка на его поверхности застывает, образовав кору плавления толщиной менее 1 мм — характерный признак метеоритов. Другая деталь поверхности метеорита — углубления, образующие застывшую рябь. Они называются регмаглиптами и образуются от обработки поверхности воздушным потоком на большой скорости. Таким образом, внешний вид метеоритов имеет свои особенности, отличающие их от обычных земных образцов.

Только часть метеоритов сразу после падения доставляют исследователям (когда



Огненный болид несется по небу, за ним тянется хвост и дымный след

**30 июня 1908 г. жители Сибири (в районе реки Подкаменная Тунгуска) стали свидетелями яркого дневного болида. Звуки при его падении были слышны за 1000 км, а воздушная волна дважды обогнула земной шар. Когда исследователи добрались до места падения, они обнаружили, что там повалены деревья на площади поперечником 40 км. Корнями деревья были обращены в одно место, но никакого метеоритного вещества там найти не удалось. И это несмотря на то, что, по оценкам специалистов, из космоса в атмосферу Земли влетел метеорит массой около 1 млн. т.**



поднимают только что упавший с неба кусок); большинство метеоритов при падении не наблюдают и обнаруживают их гораздо позднее. Следовательно, все хранящиеся в метеоритных коллекциях образцы делятся на падения и находки.



Железно-никелевый метеорит Вилламетт хранится в музее истории в Нью-Йорке

## Состав

По веществу метеориты делятся на два основных класса: железные и каменные. Главная составляющая железных метеоритов — никелистое железо. В земных горных породах природный сплав железа и никеля не встречается. Количество никеля в сплаве может быть разным. Впрочем, в метеоритах присутствуют и земные минералы. Так, большая часть вещества каменных метеоритов представлена силикатами — оливинами и пироксенами, весьма обычными для земных горных пород. Наиболее часто встречающийся тип каменных метеоритов — хондриты (в их структуре выделяются мелкие округлые образования — хондры). Как правило, и никелистое железо присутствует в каменных метеоритах в виде включений, поэтому они в среднем тяжелее земных камней. Промежуточный класс составляют железокаменные метеориты. Наиболее распространенный их тип представляет собой железную губку, поры которой заполнены каменистым веществом. Изучение состава метеоритов важно для сбора информации о том исходном веществе, из которого когда-то образовалась вся Солнечная система.





Метеоритный кратер Каали (Эстония) окружен земляным валом диаметром 110 м

# Как возникла Солнечная система?

*Какие загадочные процессы, происходившие во Вселенной миллиарды лет назад, привели к образованию нашей Земли и других планет? Какие изменения происходили с ними за их длинный эволюционный путь? Это те фундаментальные вопросы, к ответам на которые наука только подходит. Космогония (наука о происхождении небесных тел) включает планетную космогонию — науку о происхождении Земли и планет и звездную космогонию, изучающую проблемы образования звезд и Солнца.*



Микеланджело. Сотворение мира. XVI в. Фрагмент

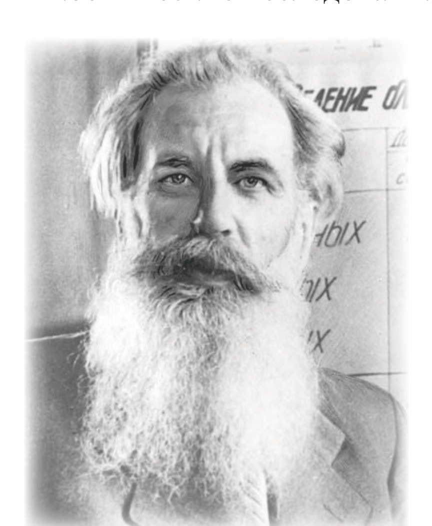
## Основные гипотезы

Основоположниками космогонии считаются немецкий философ Иммануил Кант и французский математик Пьер Симон Лаплас. В 1755 г. Иммануил Кант опубликовал первую стройную научную теорию происхождения планетной системы. В ее основу легло предположение о формировании планет и их спутников из сгустков газа и пыли, которые образовались во вращающемся вокруг Солнца рассеянном веществе. В 1796 г. Пьер Лаплас предложил свою концепцию образования Солнечной системы из вращающейся газовой туманности. Поскольку и Кант, и Лаплас рассматривали образование планет из газовой туманности, то говорят о небулярной гипотезе Канта — Лапласа.

Позже появилось несколько так называемых «катастрофических» гипотез, утверждающих, что Солнечная система образовалась в результате прохождения Солнца вблизи другой звезды. Это вызвало сильное извержение газов из обеих звезд. Все изверженные частицы обращались вокруг Солнца. Со временем вещество охлаждалось, и в нем сформировались маленькие твердые частицы, которые при слипании образовали планеты.

В начале 40-х гг. XX в. проблемой образования Земли занимался советский полярный исследователь и геофизик-теоретик Отто Юльевич Шмидт. Он пришел к выводу, что наша планета образовалась из достаточно мелких холодных тел, подобных метеоритам, которые были захвачены Солнцем (так называемая метеоритная теория). Современные ученые в решении проблем космогонии опираются на методы научного моделирования и космические исследования.

Философ Иммануил Кант (1724—1804) серьезно занимался астрономией



О. Ю. Шмидт (1891—1956), основатель кафедры высшей алгебры в МГУ



Этапы образования Солнца и планетной системы из газопылевой туманности

## Образование Солнца и планет

По данным современной астрофизики, звезды образуются в газопылевых комплексах. В настоящее время в нашей Галактике известно много областей интенсивного звездообразования. Предполагается, что и наше Солнце образовалось в ходе сложного процесса сжатия и фрагментации (деления на более мелкие части) холодного массивного газопылевого облака. Первоначальный околосолнечный газопылевой диск по своим размерам превосходил современную планетную систему и состоял преимущественно из газа. Благодаря тому что в остывающем облаке давление было очень низким, его вещество сублимировалось, т. е. переходило в твердое состояние, минуя жидкую фазу.

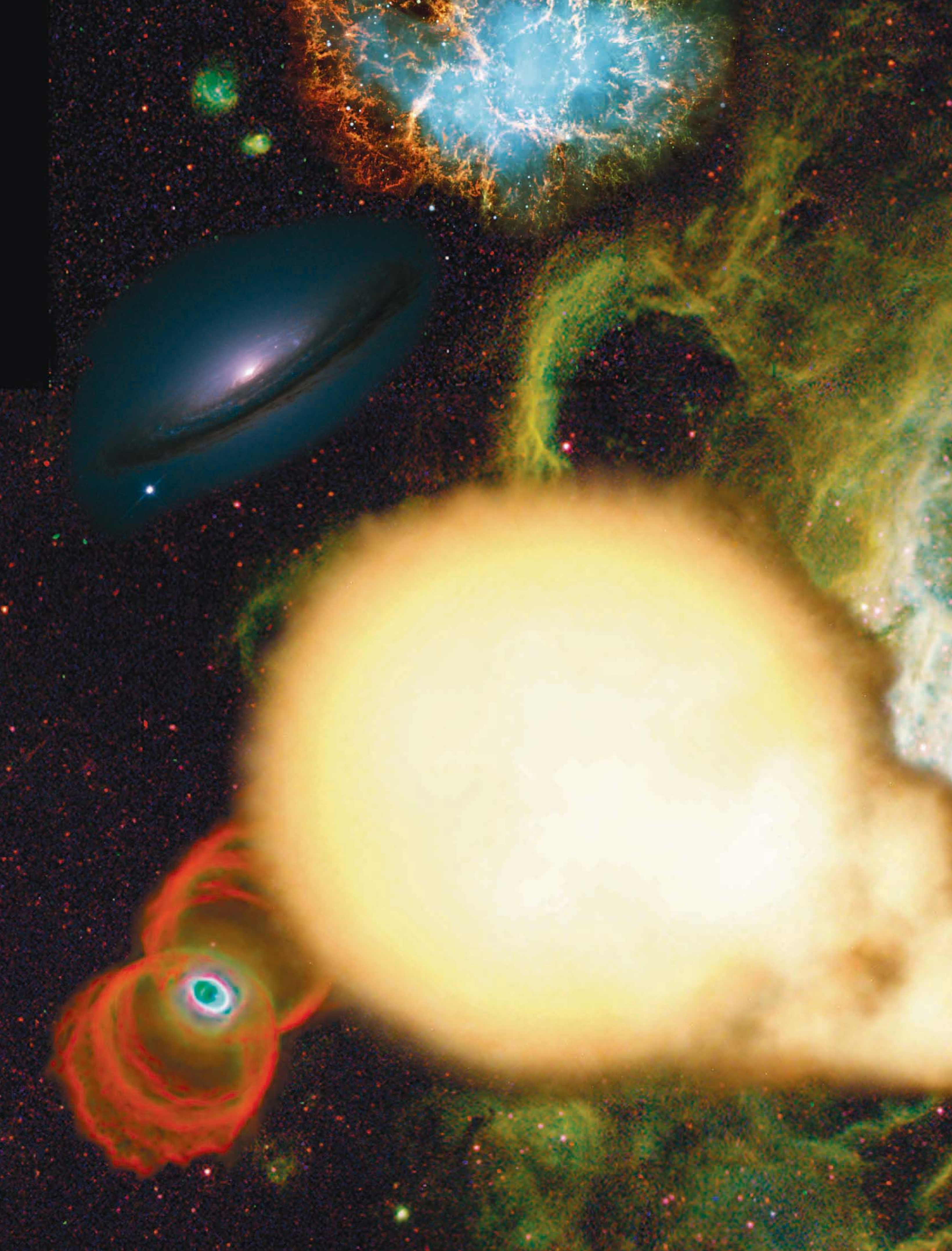
На следующем этапе эволюции образовался тонкий пылевой слой — пылевой субдиск в центральной плоскости облака. На него начали оседать пылинки и льдинки. В процессе движения они сталкивались друг с другом и слипались, их размеры увеличивались. На этом этапе в пылевом субдиске могла возникнуть система колец, которые, уплотняясь, в свою очередь распадались на множество отдельных мелких сгустков. При столкновении друг с другом эти сгустки могли объединяться и все более уплотняться. Так мог сформироваться рой допланетных тел размерами около километра. Если образование допланетных тел продолжалось несколько десятков тысяч лет, то процесс объединения допланетных тел в планеты занял сотни миллионов лет.

## Эволюция Земли и планет

Земля формировалась из роя частиц, который двигался в широкой области между орбитами Венеры и Марса. Удары в протоземлю массивных тел привели к нагреву поверхностного слоя планеты. Дополнительно земные недра нагревались благодаря распаду радиоактивных элементов, входивших в состав протоземного вещества, а также в результате сжатия протоземли под действием растущих внешних слоев протопланеты. Затем начался процесс расслоения земных недр (который продолжается и в настоящее время): более тяжелые компоненты земного вещества тонули, а более легкие всплывали на поверхность.

Разогревание Земли привело к выделению газов и водяных паров, содержавшихся в небольших количествах в каменистых веществах. Прорываясь на поверхность, водяные пары сконденсировались в воды морей и океанов, а газы образовали атмосферу.

В недрах планет земной группы происходили аналогичные процессы. Механическая эрозия (разрушение пород под действием ветра, воды, ледников), взаимодействие наружных слоев с гидросферой и атмосферой и в настоящее время формируют поверхности планет, обладающих атмосферой. У планет и спутников без плотной атмосферы поверхность формируется в основном благодаря падению метеоритных тел. Состав ее был не таким, как сейчас. Современный состав земной атмосферы обусловлен жизнедеятельностью микроорганизмов. Эволюция Земли продолжается до сих пор.





# Звезды

**Как же многообразен мир звезд!**
**Даже невооруженным глазом заметно, что звезды различаются по блеску, цвету, размеру. Но на самом деле различий между ними гораздо больше.**
**Звезды бывают одиночные, двойные и кратные, карлики и гиганты, переменные, взрывающиеся.**
**Целый разряд звезд называют странными, сюда относятся нейтронные звезды и знаменитые черные дыры. Читая данный раздел, вы научитесь разбираться в звездах, а также узнаете, как ученые определяют возраст звезд, их размеры, температуру, массу, состав.**

# Многообразный мир звезд

*Взглянув на небо в темную ночь, нетрудно убедиться, что звезды отличаются по блеску. Лишь немногие звезды кажутся нам яркими. Есть и такие, которые хорошо видны, хотя похожи на слабые искорки. Многие звезды удается разглядеть с трудом: они едва различимы. Наиболее яркие звезды имеют разные цветовые оттенки: одни красноватые, другие излучают голубоватый свет. В действительности слабые звезды тоже отличаются по цвету, но глаз человека не может этого заметить.*

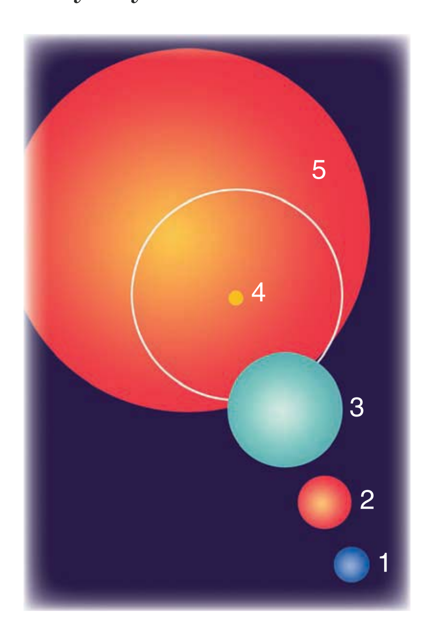


Сейчас науке известно много миллиардов звезд

## Каковы размеры звезд?

Звезды имеют довольно внушительные размеры. Так, диаметр Солнца составляет 1 млн. 392 тыс. км, что примерно в 110 раз превышает диаметр Земли, при этом видимый диаметр Солнца на небе — чуть больше 0,5°. Но благодаря огромным расстояниям до звезд они кажутся нам с Земли светящимися точками.

Применяя довольно сложные методы, основанные на использовании явления интерференции (сложения) волн, астрономы смогли измерить видимые диаметры нескольких самых близких к нам звезд-сверхгигантов. Избавиться от атмосферных искажений удалось, выведя телескоп на орбиту спутника Земли.




Сравнительные размеры некоторых звезд:
1 — Регул;
2 — Альдебаран;
3 — Ригель;
4 — Солнце;
5 — Мира
(белым кольцом показана орбита Земли)

Измерить угловые размеры некоторых звезд-сверхгигантов можно еще одним интересным способом: наблюдая, как быстро Луна в своем движении по небу закрывает диск звезды для земного наблюдателя. К сожалению, этот метод применим далеко не ко всем звездам: путь Луны ограничен узкой полосой, проходящей по зодиакальным созвездиям. Кроме того, условия для наблюдения такого «затмения» неодинаковы для различных обсерваторий земного шара.

## Они такие разные

В астрономической науке существует сложная классификация звезд и многообразные их названия. Есть карлики и гиганты, переменные и взрывающиеся звезды. Целый класс звезд называется «странные». Помимо белых карликов к странным звездам относят нейтронные звезды и черные дыры. Их изучение важно не только для астрономии, но и для теоретической физики, ведь здесь речь идет о таком состоянии вещества, которое нельзя воспроизвести в лаборатории и свойства которого отличаются от всего, что известно на Земле. В нейтронных звездах, например, за исключением тонкого внешнего слоя нет никаких атомов, а черные дыры лишь очень условно можно назвать звездами: они не только совершенно не излучают света, но и вообще не имеют поверхности в обычном понимании этого слова.

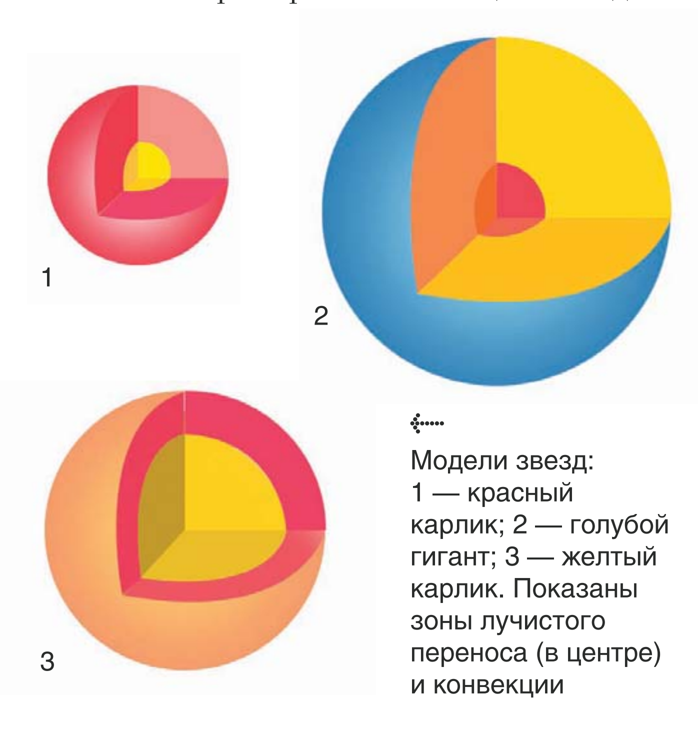
Как выяснилось, у каждой звезды есть свой возраст. Звезды стареют очень медленно, воочию наблюдать за этим процессом люди не могут. Для воссоздания жизненного пути звезд используют метод их сопоставления. Кроме того, есть достаточно хорошо изученная ближайшая к нам звезда — Солнце. Наблюдая звезды с такой же массой и таким же химическим составом, как Солнце, но возникшие в разное время, ученые сравнивают их и прослеживают происходящие в звездах возрастные изменения.

**В последние годы прогресс техники для астрофизических наблюдений позволяет делать то, что раньше казалось невероятным. Можно измерять даже незначительную переменность излучения звезд; по анализу форм спектральных линий отслеживать движения деталей звездных атмосфер; открывать пятна на звездах и наблюдать за вспышками в их атмосферах. Однако в отношении эволюции звезд остается много загадок. Особая проблема — исследование тех необычных с точки зрения физических свойств компактных объектов, которые представляют собой конечную стадию существования звезды.**

## Бывают даже двойные

Очень интересная тема — это двойные звезды, т. е. близкие друг к другу звезды, обращающиеся вокруг общего центра масс. Если расстояние между звездами сравнимо с их размерами (а таких тесных пар известно много), то форма звезд становится не шарообразной, а взаимодействие между ними рождает сложные физические явления, меняющие характер эволюции каждой из звезд, особенно если одна из них — странная звезда.

Довольно сильные изменения в звездах возникают при перетекании вещества с одной звезды на другую, хотя слово «перетекание», казалось бы, малоприменимо к газу. Горячие газовые струи уже давно обнаружены в целом ряде тесных двойных систем. При падении на компактные объекты такие струи разгоняются в их гравитационном поле до скоростей, сопоставимых со скоростью света, а выделяемая при этом энергия может существенно превысить ту, которая могла бы освободиться при термоядерном взрывном горении падающего газа.

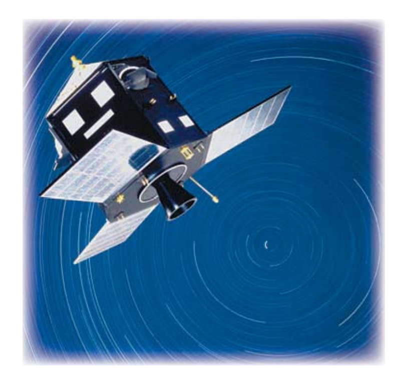



Модели звезд: 1 — красный карлик; 2 — голубой гигант; 3 — желтый карлик. Показаны зоны лучистого переноса (в центре) и конвекции

Самым удивительным может показаться то, что детальные картины происходящих процессов в двойных системах астрономы научились восстанавливать лишь по совокупности спектральных и фотометрических данных, поскольку ни в один телескоп нельзя непосредственно увидеть ни струй падающего газа, ни газовых дисков вокруг звезд. Даже двойные звезды, если они очень близки друг к другу, не видны в телескоп по отдельности, но из-за того, что скорости их движения относительно нас неодинаковы, спектральные наблюдения позволяют разделить свет, идущий от каждой звезды, и исследовать эти объекты раздельно.

# Расстояния до звезд

*По сравнению с масштабами Солнечной системы расстояния до звезд очень велики, поэтому они долго оставались неизвестными. Свет от некоторых ярких звезд, видимых на небе невооруженным глазом, находится в пути десятки и сотни лет. Расстояния до звезд можно измерять в привычных нам метрах или километрах. Но это очень неудобно, ведь получатся гигантские числа. Поэтому в астрономии существуют свои единицы измерения: астрономическая единица, световой год, парсек.*



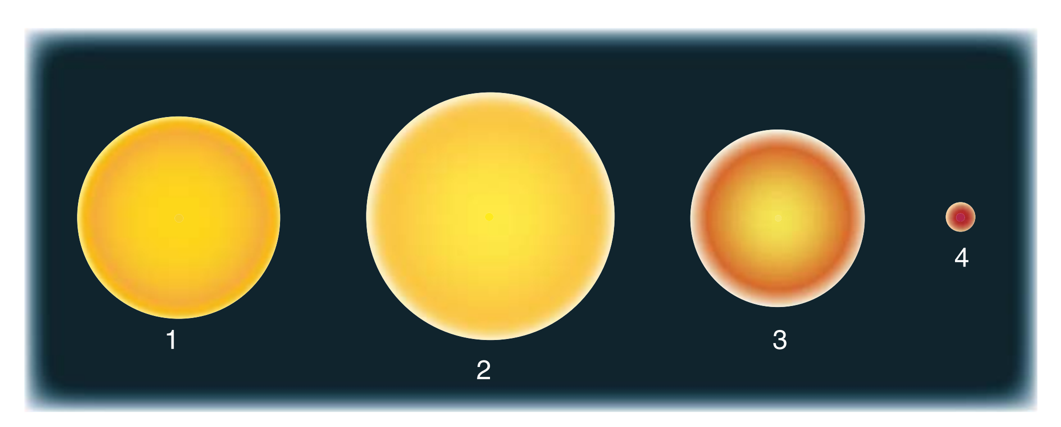
Астрометрический спутник «Гиппарх»

## Самые близкие звезды

Ближайшая к нам звезда — Солнце. Днем, когда оно над горизонтом, мы не видим других звезд, потому что от Солнца к нам приходит света в десятки миллиардов раз больше, чем от любой, даже самой яркой звезды. Но это не означает, что Солнце действительно излучает намного больше света по сравнению с остальными звездами. Просто Солнце находится намного ближе к нам (расстояние от Земли до Солнца — 150 млн. км).

Из других звезд ближе всех к Земле расположены яркая южная двойная звезда — α Центавра и ее слабая соседка Проксима Центавра: ее расстояние до Земли еще меньше, благодаря чему звезда и получила свое название (лат. «проксима» — «ближайшая»). Кстати, на ее примере видно, что блеск звезды на небе определяется не только расстоянием: Проксима ближе к Земле, чем α Центавра, но слабее. Эти звезды примерно в 275 тыс. раз дальше от нас, чем Солнце, и потому приходящий от них свет слабее по сравнению с солнечным в 75 млрд. раз.

**Если вокруг Солнца описать сферу радиусом в 5 св. лет, то в этой области кроме Солнца окажется только одна яркая тройная звезда — α Центавра, имеющая два имени — Ригиль-Кентаврус (Нога Кентавра) и Толиман (Страусы). Эта южная звезда в наших широтах не видна. По блеску ($0{,}3^m$) она уступает только Сириусу, Канопусу, Арктуру и Веге. В сферу радиусом 10 св. лет входят еще восемь звезд. Ближайшая из них — звезда Барнарда в созвездии Змееносец, имеет 10-ю звездную величину. Ее называют «летящая» за быстрое собственное перемещение по небу.**




Сравнительные размеры звезд:
1 — Солнце;
2 — альфа Центавра A;
3 — альфа Центавра B;
4 — Проксима Центавра

## Единицы измерения

Астрономические расстояния столь велики, что измерять их в километрах неудобно. В ближнем космосе (в пределах Солнечной системы) наиболее употребительной единицей длины стала астрономическая единица (а. е.), равная расстоянию от Земли до Солнца. Например, расстояние от Солнца до Проксимы Центавра — около 275 тыс. а. е., а ведь это — самая близкая из звезд, не считая Солнца! Однако даже астрономическая единица подчас оказывается слишком мелкой для определения расстояний до звезд.

Расстояния до звезд иногда измеряют в световых годах. Световой год — это не единица времени, как можно подумать исходя из названия. Это единица длины, равная расстоянию, которое свет проходит за год (скорость света — самая высокая скорость в природе). Один световой год (св. год) — это 63 240 а. е. Таким образом, до Проксимы Центавра — 4,3 св. года.

Очень часто астрономы используют и другую большую единицу длины. Она называется парсек (сокращение слов «параллакс» и «секунда»). Взяв отрезок длиной в один парсек (пк) и пристроив к нему под прямым углом отрезок длиной в радиус земной орбиты (1 а. е.), получим прямоугольный треугольник, самый острый угол которого равен 1" (угловой секунде). 1 пк — это 3,26 св. года. До Проксимы Центавра — 1,3 пк. Самые далекие звезды нашей Галактики расположены на расстояниях в десятки килопарсек (в десятки тысяч парсек). Расстояния до звезд других галактик зачастую приходится определять в мегапарсеках (миллионах парсек): один килопарсек (кпк) составляет немногим больше 3 тыс. св. лет, а один мегапарсек (Мпк) — 3 млн. св. лет.

## Метод расчета расстояний

Единица расстояния парсек самым непосредственным образом связана с важнейшим методом определения расстояния до близких звезд — методом годичного тригонометрического параллакса. Измерив достаточно точно параллаксы для очень большого числа звезд, можно установить, сколько света излучают звезды определенных типов, т. е. какая у них светимость.

Эти результаты дают возможность рассчитать расстояния до более далеких звезд, у которых уже не удается измерить тригонометрические параллаксы, сопоставляя их светимость с видимой звездной величиной. Так, зная, с каким периодом изменяется блеск, можно определить светимость для переменных звезд — цефеид, а значит, найти расстояние до цефеиды и, например, до звездного скопления или галактики, где она находится. В галактиках, где есть цефеиды, можно изучать появляющиеся в них сверхновые звезды, а затем по сверхновым звездам вычислять расстояния до еще более далеких от нашей планеты галактик.

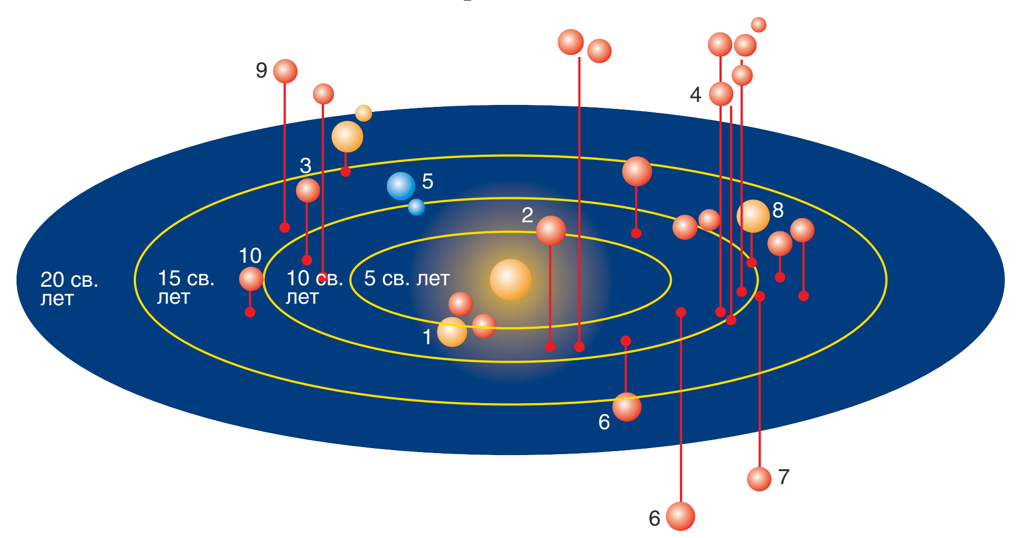



Схема примерных расстояний до звезд: 1 — альфа Центавра; 2 — звезда Барнарда; 3 — Волк 359; 4 — Лаланд 21185; 5 — система Сириуса; 6 — Росс 154 и Росс 248; 7 — эпсилон Эридана; 8 — Лакайль 789-6; 9 — 61 Лебедя; 10 — тау Кита

# Какие бывают звезды?

*Наблюдая звезды невооруженным глазом, можно убедиться, что они отличаются видимым блеском и цветом. Оказалось, что их различия обусловлены физическими характеристиками звезд как массивных горячих тел (температурой поверхности, размерами, массой, особенностями химического состава и т. п.). Современные астрономические приборы позволяют количественно измерять малейшие цветовые различия звезд и звездные спектры. А значит — вычислять многие характеристики звезд.*



В телескоп цветовые различия звезд более заметны

## Звездные величины

Астрономы с древности попытались оценить блеск звезд: самые яркие звезды назвали звездами 1-й величины ($1^m$), несколько более слабые — звездами 2-й величины ($2^m$) и т. д. Самые слабые звезды, едва различимые глазом, были названы звездами 6-й величины ($6^m$). После изобретения телескопа стало ясно, что существуют звезды намного более слабые, чем звезды 6-й величины. (Заметим, что термин «звездная величина» не имеет никакого отношения к размерам звезд.)

Современные астрономы по-прежнему пользуются понятием «звездная величина», но оно получило более строгое определение. Физическая величина, воспринимаемая нами как блеск звезды, — это создаваемая звездой освещенность. При изменении освещенности в геометрической прогрессии наше ощущение света меняется в арифметической прогрессии. Этот закон не был известен в древности, но именно он помог определить, что отношение освещенности, создаваемой звездами 1-й величины, к освещенности, создаваемой звездами 2-й величины, равно отношению освещенностей от звезд 2-й и 3-й величин. Сейчас это отношение по определению принимают равным 2,512, при этом отношению освещенностей в 100 раз соответствует различие ровно на пять звездных величин. В результате удалось распространить понятие «звездная величина» на очень слабые звезды (скажем, звезды 30-й величины).

Иллюстрация понятия о звездных величинах из книги А. Целлариуса. XVII в.



Канопус — ярчайшая звезда в созвездии Киль и вторая по яркости звезда на небе

## Светимость

Чтобы от видимых перейти к абсолютным звездным величинам, нужно рассчитать, какую видимую звездную величину имела бы звезда, если бы находилась от нас на расстоянии 10 пк, а поглощения света в межзвездном пространстве не было бы. Абсолютная визуальная величина Солнца равна +5. Если бы Солнце находилось от нас на расстоянии 10 пк, его все еще можно было бы увидеть невооруженным глазом, но оно затерялось бы среди множества далеко не самых ярких звезд. Абсолютные величины звезд, как правило, находятся в диапазоне от –10 до +20. Различие на 30 абсолютных звездных величин означает разницу в мощности излучения (как говорят, различие в светимости) в триллион (тысячу миллиардов) раз! Светимость, как правило, выражают в единицах светимости Солнца.

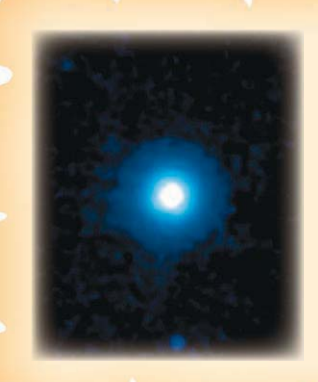
## Показатель цвета

Разность звездных величин одной и той же звезды, измеренных в разных спектральных диапазонах, называется показателем цвета. Эта характеристика звезды чувствительна прежде всего к температуре ее поверхности. Самыми горячими являются голубоватые звезды, а самыми холодными — красные. Показатели цвета далеких звезд могут быть искажены из-за поглощения света галактической пылью.

Звездную величину можно измерить с помощью приборов, по-иному чувствительных к световым лучам разной длины волны, чем человеческий глаз. Например, красные звезды воспринимаются более яркими, если наблюдать их приборами, более чувствительными к красным лучам и менее к голубым лучам, чем глаз человека. Цвет звезды можно оценить, сравнив ее звездные величины, измеренные приборами, чувствительными к различным областям спектра.

Двадцать самых ярких звезд

| Название | Звездная величина | Расстояние, св. лет | Созвездие |
|---|---|---|---|
| Сириус | –1,5 | 8,6 | Большой Пес |
| Канопус | –0,6 | 310,0 | Киль |
| Альфа Центавра | –0,3 | 4,4 | Центавр |
| Вега | 0,0 | 25,0 | Лира |
| Капелла | 0,0 | 42,0 | Возничий |
| Арктур | 0,2 | 46,2 | Волопас |
| Ригель | 0,2 | 770,0 | Орион |
| Процион | 0,4 | 11,4 | Малый Пес |
| Ахернар | 0,5 | 144,0 | Эридан |
| Бетельгейзе | 0,5 | 430,0 | Орион |
| Агена | 0,6 | 525,0 | Центавр |
| Альтаир | 0,8 | 17,0 | Орел |
| Акрукс | 0,8 | 320,0 | Южный Крест |
| Альдебаран | 0,9 | 65,0 | Телец |
| Спика | 1,0 | 260,0 | Дева |
| Антарес | 1,1 | 600,0 | Скорпион |
| Поллукс | 1,2 | 34,0 | Близнецы |
| Фомальгаут | 1,2 | 25,0 | Рыбы |
| Денеб | 1,2 | ок. 1500,0 | Лебедь |
| Регул | 1,4 | 78,0 | Лев |

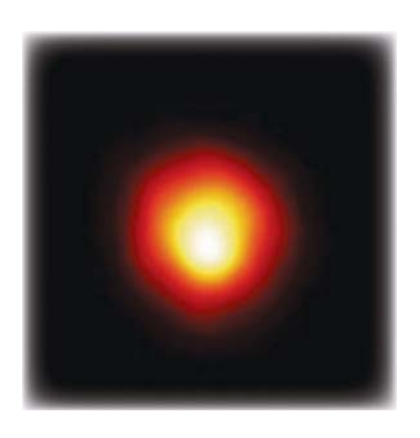


**Строго применяя современное понимание звездной величины, астрономы определили показатели более ярких звезд, чем звезды 1-й величины. Так, самая яркая после Солнца звезда на небе Сириус имеет в современных каталогах отрицательную величину –1,5$^m$. Солнце — звезда –27-й звездной величины. В звездных величинах можно измерять блеск не только звезд, но и других небесных тел, например Луны и планет. Луна в полнолуние имеет звездную величину –13$^m$; звездная величина Венеры в периоды, когда она ярче всего сияет на сумеречном небе, равна примерно –4$^m$.**

## Температура звезд

Звезда — это раскаленный газовый шар. Температура поверхности у разных звезд составляет примерно от 2000 до 100 000 К. Цвет звезды определяется температурой ее поверхности. Красные звезды холоднее голубых. Температура поверхности определяет и спектральный класс звезды (*см.* Классификация звезд).

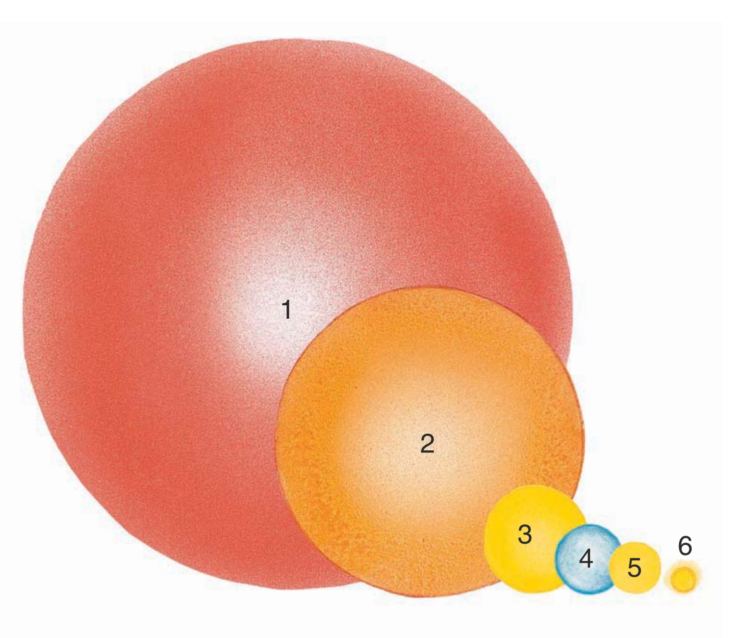
В недрах звезд температура намного выше, чем на поверхности, и составляет десятки миллионов кельвинов. При таких температурах атомы существовать не могут, в недрах звезд находится плазма — особая форма вещества, состоящая из не связанных между собой ядер атомов и электронов. В недрах звезд идут термоядерные реакции и выделяется энергия, благодаря которой звезды светят.



Звезда Бетельгейзе — красный сверхгигант, ее объем в 160 раз больше солнечного

## Масса

Важнейшая характеристика звезды — ее масса. Масса Солнца составляет $2 \times 10^{30}$ кг. Массу других звезд обычно выражают в единицах массы Солнца. Определить массу конкретной звезды зачастую бывает трудно, но массы звезд распространенных типов известны довольно точно. Самые крупные звезды примерно в 100 раз массивнее Солнца. Расчеты показали, что масса звезды, светящейся за счет термоядерных реакций (а только такие объекты, собственно, и заслуживают названия «звезды»), не может быть меньше 0,07 массы Солнца. Максимальные различия между звездами по массе намного меньше, чем по светимости!




Сравнение размеров и цвета звезд:
1 — Бетельгейзе; 2 — Антарес; 3 — Полярная; 4 — Ригель; 5 — Альдебаран; 6 — Поллукс

## Плотность

По имеющимся данным о массе и диаметре Солнца нетрудно подсчитать, что его средняя плотность — около 1400 кг/м$^3$. Это почти в 1,5 раза превышает плотность воды, но в четыре раза меньше средней плотности Земли. Самые крупные по размерам известные звезды больше Солнца по диаметру примерно в 1500 раз. Некоторые из них существенно не отличаются от Солнца по массе, а значит, имеют примерно в 2 млн. раз меньшую среднюю плотность. Самые маленькие размеры и большие плотности имеют белые карлики и нейтронные звезды. Характерные размеры белых карликов сравнимы с размерами Земли, а массы зачастую почти не отличаются от массы Солнца. Известны белые карлики со средней плотностью, превышающей плотность Солнца в десятки миллионов раз. Нейтронные звезды могут быть совсем маленькими (несколько километров в диаметре), а значит, более плотными в миллионы раз. Вещество такой плотности имело бы на Земле нереально большой вес. Однако надо помнить, что в звездах вещество находится под огромным давлением и не может существовать при давлении земной атмосферы.

Зависимость между цветом и температурой звезды

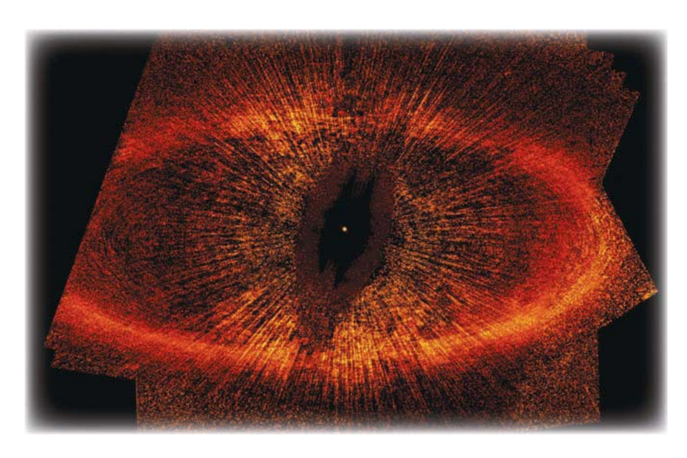
| Цвет | Температура, тыс. градусов | Примеры |
|---|---|---|
| | 30—35 | λ Ориона |
| | 10—30 | Спика, Ригель |
| | 8—10 | Вега, Сириус |
| | 6—7 | Процион, Полярная |
| | 5—6 | Солнце, Капелла |
| | 3—5 | Поллукс, Арктур, Альдебаран |
| | 2—3 | Антарес, Мира, Бетельгейзе |

**Особенности химического состава внутренних слоев звезд иногда можно наблюдать непосредственно. Некоторые звезды на определенном этапе своей эволюции сбрасывают богатую водородом оболочку, обнажая более глубокие слои, которые теперь становятся поверхностными, атмосферными слоями. В таких случаях наблюдаемая звезда — это, по сути, оголенное ядро некогда более массивной звезды. Некоторые из звезд, лишившихся оболочки, меняют свой блеск: иногда он падает в сотни раз. Это можно объяснить формированием углеродного облака, экранирующего свет звезды от земного наблюдателя.**

## Химический состав

Не следует забывать о возможных различиях химического состава вещества, образовавшего звезду. Методами спектрального анализа удается определить содержание химических элементов в атмосферах звезд; более глубокие слои непосредственно наблюдать нельзя, и об их составе приходится судить на основе косвенных данных.

Почти три четверти массы атмосферы звезды обычно составляет водород, около 25 % — гелий, а на долю элементов тяжелее гелия остается не более 2 %. У старых звезд содержание элементов тяжелее гелия может быть существенно пониженным, иногда в 10—100 раз. У большинства нормальных звезд состав атмосферы довольно точно соответствует составу того вещества, из которого когда-то сформировалась звезда.



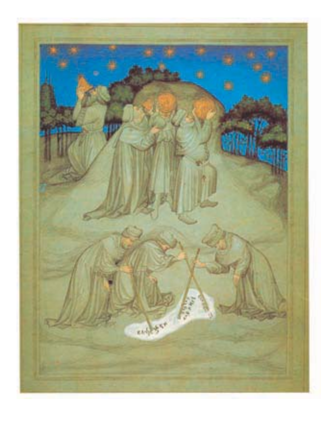
Звезда Фомальгаут в созвездии Южная Рыба окружена диском космической пыли

В недрах звезд идут термоядерные реакции, которые существенно изменяют содержание тяжелых элементов, но продукты термоядерного синтеза на поверхность обычно не выносятся. Основное термоядерное «горючее» — водород, который постепенно превращается в гелий, а затем начинаются реакции превращения гелия в углерод.

Считается, что все имеющиеся во Вселенной запасы элементов тяжелее гелия возникли именно в ходе термоядерных реакций в недрах звезд, а затем были выброшены старыми звездами при сбросе внешней оболочки или иными способами. Элементы тяжелее железа возникли в таких бурных процессах, как вспышки сверхновых звезд (*см.* Взрывающиеся звезды). Вещество, переработанное в звездных недрах и выброшенное в межзвездное пространство, может затем вновь оказаться в звездах следующего поколения. В их атмосферах будет больше тяжелых элементов. (Звезд самого первого поколения пока не найдено.)

# Классификация звезд

*В звездных каталогах отражено свыше 500 млн. звезд (до 21-й звездной величины). Всего в нашей Галактике — десятки миллиардов звезд. Астрономы давно поняли необходимость классификации этого огромного царства, чтобы составить общее представление о свойствах каждой звезды. Автор первой классификации спектров звезд — итальянский астроном-священник Анджело Секки (1818—1878). Он присоединил к телескопу спектроскоп и по виду спектра разделил звезды на четыре класса.*



Звездочеты древности

## Гарвардская система

Современный вид классификация звезд получила на рубеже XIX—XX вв. При работе над новым каталогом звезд было решено обозначить спектральные классы звезд буквами латинского алфавита. В итоге получился принятый в настоящее время вариант гарвардской спектральной классификации, в которой классы идут в следующем порядке:

O—B—A—F—G—K—M.

Для лучшего запоминания последовательности спектральных классов придумано несколько приемов. Пожалуй, самыми удачными являются английский «Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me!» («О, будь хорошей девочкой, поцелуй меня!») и русский «Один Бритый Англичанин Финики Жевал, Как Морковь».

Плавный переход между спектральными классами записывают в виде цифрового подкласса. Так, звезда спектрального класса G, наиболее похожая на звезды спектрального класса F, будет классифицирована как G0, а

Спектры звезд разных классов

| Спектральный класс | Цвет | Температура, К | Особенности спектра | Типичные звезды |
|---|---|---|---|---|
| W | Голубой | 80 000 | Излучения в линиях гелия, азота, кислорода | γ Парусов |
| O | Голубой | 40 000 | Интенсивные линии ионизированного гелия, линий металлов нет | Минтака |
| B | Голубовато-белый | 20 000 | Линии нейтрального гелия. Слабые линии H и K ионизованного кальция | Спика |
| A | Белый | 10 000 | Линии водорода достигают наибольшей интенсивности. Видны линии H и K ионизованного кальция, слабые линии металлов | Сириус, Вега |
| F | Желтоватый | 7 000 | Ионизированные металлы. Линии водорода ослабевают | Процион, Канопус |
| G | Желтый | 6 000 | Нейтральные металлы, интенсивные линии ионизованного кальция K и H | Солнце, Капелла |
| K | Оранжевый | 4 500 | Линий водорода почти нет. Присутствуют слабые полосы окиси титана. Многочисленные линии металлов | Арктур, Альдебаран |
| M | Красный | 3 000 | Сильные полосы окиси титана и других молекулярных соединений | Антарес, Бетельгейзе |
| L | Темно-красный | 2 000 | Сильные полосы CrH, рубидия, цезия | Kelu-1 |
| T | «Коричневый карлик» | 1 500 | Интенсивные полосы поглощения воды, метана, молекулярного водорода | Gliese 229B |

наиболее похожая на звезды спектрального класса К — как G9; возможны и все промежуточные варианты звездных спектров (G1, G2, G3, ..., G8).

Поначалу многие астрономы думали, что звезды разных спектральных классов отличаются содержанием химических элементов в их атмосферах. Выяснилось, однако, что гарвардская последовательность выстроена по убыванию температуры поверхности звезды. Самые «горячие» звезды спектрального класса О, самые «холодные» — класса М. На небе звезды класса О кажутся голубоватыми; класса В — голубовато-белыми; А — белыми; F — желтоватыми; G — желтыми; К — красноватыми; М — красными.

В дальнейшем гарвардская классификация дополнилась еще двумя классами и приняла следующий вид:

```
                        C (R — N)
                       /
O—B—A—F—G—K—M.
                       \
                        S
```

Из дальнейших усовершенствований данной классификации важнейшим стало введение классов светимости, т. е. мощности излучаемой световой энергии (это тоже можно определить по спектру звезды). Наиболее распространены следующие классы светимости:

0 — гипергиганты (звезды самой высокой светимости);

Ia — яркие сверхгиганты;

Ib — более слабые сверхгиганты;

II — яркие гиганты;

III — нормальные гиганты;

IV — субгиганты;

V — карлики.

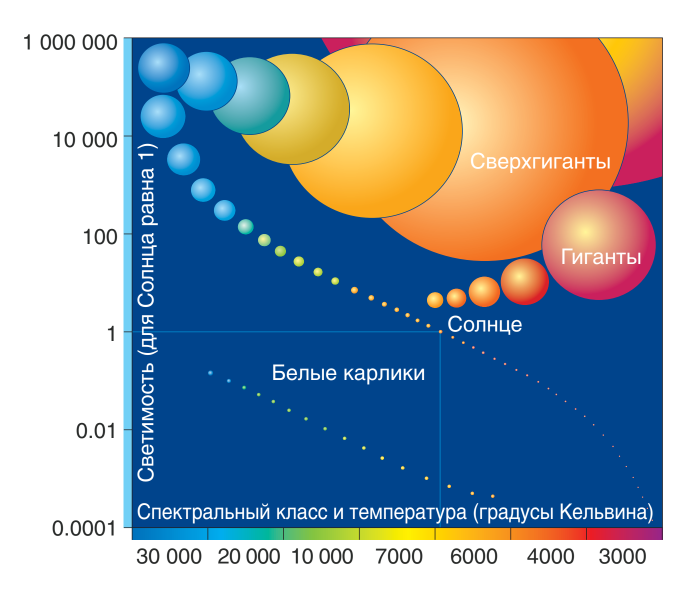



Диаграмма Герцшпрунга — Рассела отражает массу и возраст звезд

## Диаграмма Герцшпрунга — Рассела

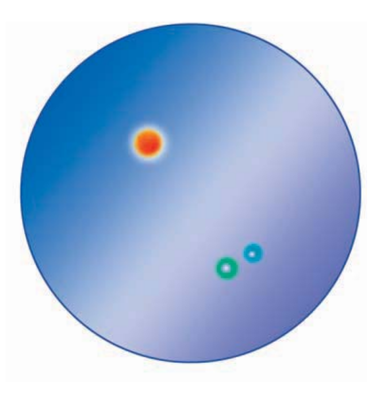
При изучении наблюдаемых параметров звезд и звездной эволюции трудно обойтись без диаграммы, которую предложили в 1911 г. датский астроном Эйнар Герцшпрунг (1873—1967), а в 1913 г. (в несколько другой форме) — американский астроном Генри Норрис Рассел (1877—1957). Ее стали называть диаграммой Герцшпрунга — Рассела.

На диаграмме по оси абсцисс отложен спектральный класс звезды в соответствии с гарвардской классификацией, а по оси ординат — абсолютная звездная величина.

Рассел заметил, что большинство звезд концентрируются в широкой полосе, пересекающей диаграмму от левого верхнего к нижнему правому углу. Эта полоса называется главной последовательностью. Правее и выше нее находятся области повышенной концентрации звезд, получившие название последовательностей субгигантов, гигантов и сверхгигантов. Левее и ниже главной последовательности лежат субкарлики и белые карлики. Эволюционируя, звезда меняется в размерах, становятся другими ее температура и светимость. На диаграмме Герцшпрунга — Рассела звезда при этом движется вдоль некоей линии. Чем больше масса звезды, тем быстрее с возрастом она перемещается на диаграмме. Сопоставляя диаграммы для разных звездных скоплений, астрономы определяют возраст скоплений и химический состав их звезд.

# Двойные и кратные звезды

*Астрономические наблюдения показали, что больше половины звезд — двойные. Пара может быть оптической (результат случайной проекции для наблюдателя) и физической (гравитационно связанные звезды движутся по орбите вокруг общего центра масс). Звезды в двойных системах совершают полный оборот за промежуток времени, называемый орбитальным периодом (эти периоды составляют от нескольких дней до нескольких сот лет, в зависимости от расстояния между звездами пары).*

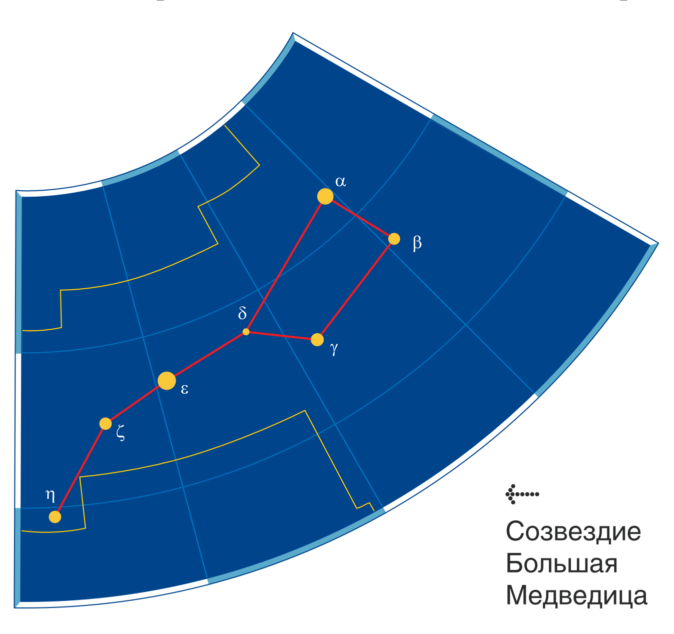


Тройная звезда Аламак в созвездии Андромеда

## Мицар и Алькор

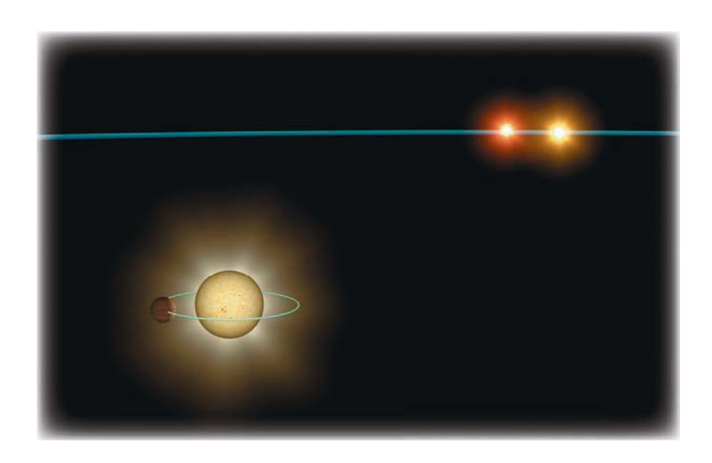
Вторая звезда в ручке ковша Большой Медведицы — Мицар. Это яркая звезда 2-й звездной величины. Человек с нормальным зрением ясно увидит, что рядом с ней есть звездочка послабее, 4-й звездной величины — Алькор. Видимое расстояние между звездами этой пары составляет 12' (угловых минут). Двойная звезда Мицар — Алькор (названия означают «конь» и «всадник») известна с древних времен.

Действительно ли две звезды, составляющие пару, близки в пространстве? Представим, что расстояние от нас до Мицара сильно отличается от расстояния до Алькора; тогда эта пара — оптическая двойная звезда. Если же расстояния до компонентов пары примерно одинаковы, то эти звезды действительно находятся сравнительно близко друг от друга и могут быть гравитационно связанными (физическими двойными). Чтобы доказать, что пара — физическая двойная, надо выявить орбитальное движение ее звезд. Известно, что расстояния до Мицара и Алькора приблизительно одинаковы, звезды этой пары движутся примерно в одном направлении в пространстве. Однако расстояние между звездами пары все же велико, и если они действительно представляют собой физическую двойную звезду, то период их орбитального движения должен составлять миллионы лет. Независимо от того, является ли эта пара физической или оптической, ее можно назвать визуальной двойной звездой.




Созвездие Большая Медведица

**Разграничить все двойные звезды на визуальные и спектральные можно лишь условно. Не слишком тесную спектральную двойную систему можно при благоприятных условиях запечатлеть раздельно в телескоп, а также увидеть при наблюдениях из космоса или с помощью специальных методов с поверхности Земли. Чем ближе к прямому угол, составляющий луч зрения с плоскостью орбиты двойной системы, тем труднее обнаружить спектральную двойственность.**

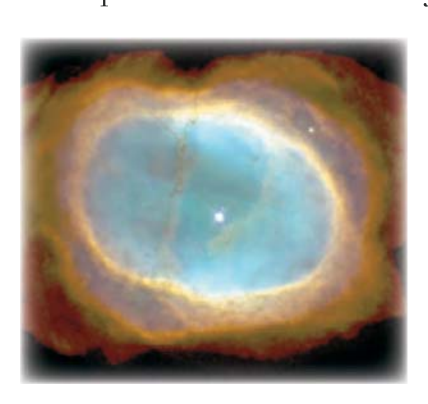


Тройная звезда HD 188753 в созвездии Лебедь, возле желтой звезды есть планета

## Спектральная двойная

Теперь наведем телескоп на Мицар. Оказывается, это тоже визуальная двойная звезда! Между звездами Мицаром А и Мицаром В всего 15" (угловых секунд), они отличаются по блеску на две звездные величины. Вероятнее всего, эта пара — физическая, но орбитальный период и в этом случае должен быть весьма большим (тысячи лет).

Интересные результаты были получены при спектральных наблюдениях Мицара А и Мицара В. Линии в спектре более яркой звезды пары имеют необычный вид: они расщеплены на два компонента, которые к тому же не сохраняют своего положения, а смещаются относительно друг друга с периодом в 20,5 суток (то сливаются, то расходятся). Это значит, что Мицар А — спектральная двойная звезда. Компоненты этой пары слишком близки, чтобы их можно было увидеть раздельно в телескоп. Периодическое смещение спектральных линий есть и у Мицара В.



Планетарная туманность NGC 3132 в созвездии Парус, в центре — двойная звезда

## Кратные звезды

Теперь посмотрим, что представляет собой система Мицара в целом. Мицар А и Мицар В — две спектральные двойные звезды. Эти две пары в свою очередь составляют более широкую пару, а еще дальше к ней примыкает Алькор — тоже звезда с признаками спектральной двойственности. Итак, Мицар — кратная звезда, а если Алькор входит в систему, то система состоит из шести, а то и большего числа компонентов.

По своему строению Мицар представляет собой так называемую иерархическую кратную систему. Это означает, что в нем есть две тесные пары, образующие в свою очередь пару на большем расстоянии, которая может иметь еще более далеких спутников (одиночных или тоже иерархических кратных). Иерархические кратные системы довольно устойчивы. Если же попарные расстояния между всеми компонентами кратной системы различаются несильно, такое образование называют системой типа трапеции (по знаменитой кратной системе Трапеции Ориона, находящейся в центре Большой туманности Ориона). Системы типа трапеции неустойчивы и должны быстро распадаться.




Примеры двойных звезд

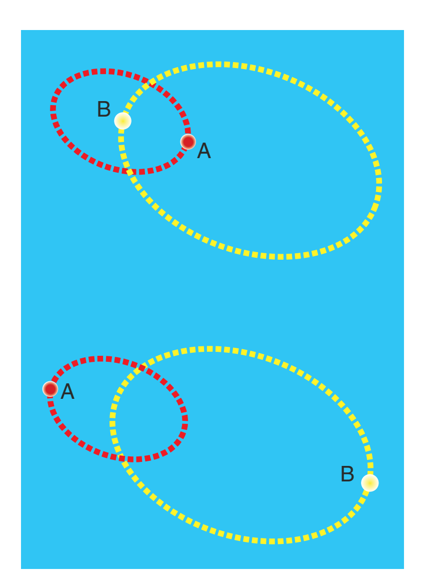
## Взаимодействие пары

Двойные звезды вращаются вокруг общего центра масс под действием взаимного притяжения. Чем массивнее звезды и чем ближе они друг к другу, тем выше скорости их орбитального движения. Поэтому если измерить изменение их относительного положения или период обращения и оценить скорости (по эффекту Доплера), то можно, используя законы механики и закон всемирного тяготения, вычислить массы компонентов (точно так же, как массы планет Солнечной системы определяются по движению их спутников).

Оказалось, что для звезд главной последовательности диаграммы Герцшпрунга — Рассела (а к этой последовательности относится большинство наблюдаемых звезд, *см.* Классификация звезд) существует четкая зависимость между массой звезды и ее светимостью. Чем больше светимость, тем в среднем массивнее звезда. Существование такой зависимости позволяет «угадать» массу звезды, измерив ее светимость. Этот косвенный метод определения массы широко применяется в астрономии.

Если в двойной звездной системе орбиты сильно вытянуты, то один раз за орбитальный период входящие в систему звезды будут проходить особенно близко друг к другу. При этом усиливается их взаимодействие, что иногда проявляется в виде вспышек, всплесков рентгеновского излучения (для двойных систем с нейтронными звездами) или иных интересных астрофизических явлений. Впрочем, не редкость и почти круговые орбиты.

У очень тесных двойных звезд компоненты своим тяготением искажают форму друг друга, которая из-за этого иногда сильно отличается от формы шара. Если в двойной системе расстояние между компонентами мало, вещество с поверхности одной звезды может перетекать на другую.




Звезды двойной системы в разные моменты времени. Звезда А более массивна, чем В

**Интересной иерархической шестикратной системой является яркая звезда Кастор (α Близнецов). В телескоп можно обнаружить компоненты примерно 2-й и 3-й звездной величины, разделенные расстоянием в 6". У пары замечено орбитальное движение с периодом, превышающим 400 лет. На расстоянии чуть больше 1' от пары находится связанный с ней третий компонент 9-й величины — YY Близнецов. У всех трех членов визуальной кратной системы обнаружена спектральная двойственность: орбитальный период самой яркой звезды — 9 суток, второй по блеску — 3 суток, а самой слабой звезды — меньше суток.**





Альбирео — двойная звезда в созвездии Лебедь



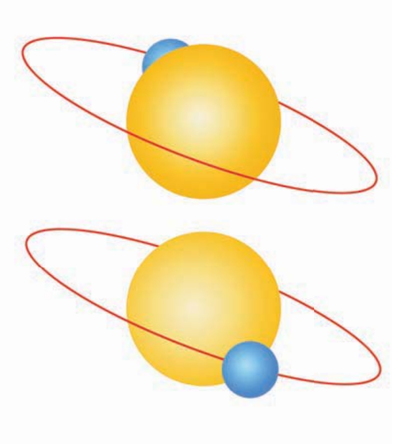
Туманность Ведьмина Голова в созвездии Эридан



## Много ли двойных звезд?

Важным для астрофизики является вопрос, как часто в звездном мире встречаются двойные и кратные звезды. Лишь получив на него ответ, можно проверить правильность наших представлений о возникновении звезд. Для этого необходимо тщательно учесть все визуальные, спектральные, астрометрические, затменные двойные, эллипсоидальные переменные, широкие пары (подобные паре Мицар — Алькор) и ввести поправки с учетом того, что мы не можем открыть абсолютно все двойные системы даже среди ближайших к нам звезд. Подобные исследования неизменно показывают, что двойственность — отнюдь не редкое явление. Возможно, не меньше половины звезд Галактики входит в состав двойных и кратных систем!

В подавляющем большинстве случаев компоненты двойных и кратных звезд имеют одинаковый возраст и образовались в результате единого процесса — гравитационного сжатия вращающихся протозвездных облаков, поэтому частота встречаемости таких звезд отражает условия их формирования. Вероятно, двойные звезды реже встречаются среди самых старых звезд Галактики. Их мало, например, среди звезд старых шаровых звездных скоплений.



Затменные переменные: звезды разной светимости вращаются вокруг общего центра масс

## Солнце — одиночная звезда

Солнце, хотя и является одиночной звездой, на самом деле не одиноко в своем движении по просторам Галактики. Его сопровождают несколько больших планет, огромное количество малых планет и комет. В последние годы астрономам удалось обнаружить многие десятки планетных систем у других звезд. Среди планет, найденных у других солнц, многие по массе значительно превышают Юпитер, самую массивную планету Солнечной системы. Теперь астрономам предстоит решить, как отличить планетные системы от двойных и кратных звезд; где находится граница между массивной планетой и маломассивной звездой — коричневым карликом.

Возможно, именно то, что Солнце не входит в состав двойной или кратной звездной системы, способствовало и самому образованию Солнечной системы, и стабильности условий на Земле, что в свою очередь благоприятствовало появлению и сохранению жизни на нашей планете.

# Планеты у других звезд

*Астрономы не сомневались, что вокруг некоторых звезд, как и вокруг Солнца, обращаются планеты, но до последнего времени ни одной такой звезды обнаружено не было. Конец XX в. подарил долгожданное открытие: было найдено несколько планетных систем у звезд разного типа. В науке о Вселенной появилось новое направление — изучение планет других звезд. Однако нужно заметить, что никто пока не видел этих планет: об их существовании судят лишь по косвенным признакам.*



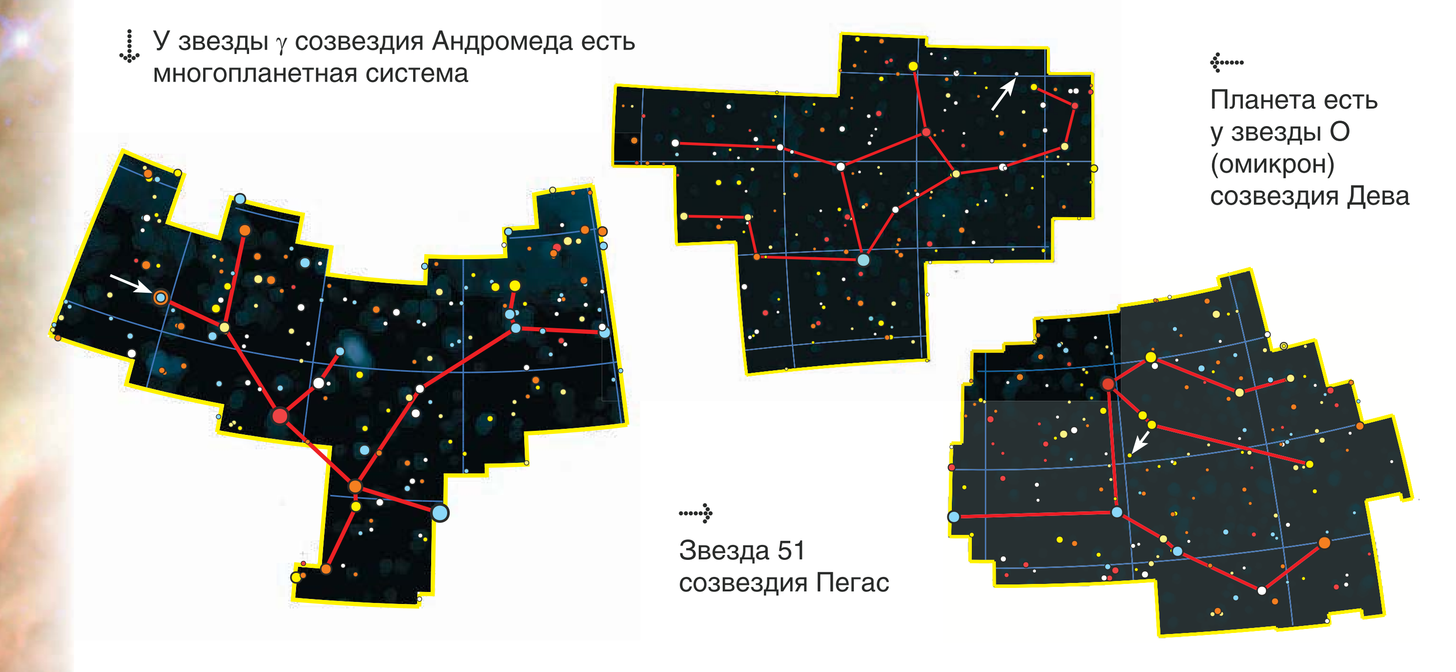
Фантастический инопланетный пейзаж

## Открытие экзопланет

Планеты других звезд, внешние по отношению к Солнечной системе, получили название «экзопланеты» (греческая приставка «экзо» означает «вне», «снаружи»). Термин «экзопланеты» можно расшифровать и как «экзотические планеты», поскольку они действительно весьма необычные.

Экзопланеты обнаружить трудно, потому что они очень маленькие и сами не излучают свет, а только отражают его часть, падающую от ближайшей звезды. Если планета обращается далеко от нее, то поверхность такой планеты отражает мало света. Если же планета движется вблизи звезды и хорошо освещена ее лучами, то для далекого наблюдателя она неразличима в блеске лучей самой звезды. Пока далекие планеты не удается разглядеть даже в мощный телескоп. Но о существовании планетных систем можно догадаться по периодическому изменению скорости звезды, которую планеты притягивают, обращаясь вокруг нее по орбитам.

Первая экзопланета была обнаружена в 1995 г. Это сделали астрономы Женевской обсерватории (Швейцария) Мишель Майор и Дидье Квелоц. Они построили оптический спектрометр, измеряющий доплеровское смещение линий с изумительной точностью — до 13 м/с (впоследствии точность удалось увеличить еще в несколько раз). В 1994 г. эти ученые приступили к система-



У звезды γ созвездия Андромеда есть многопланетная система

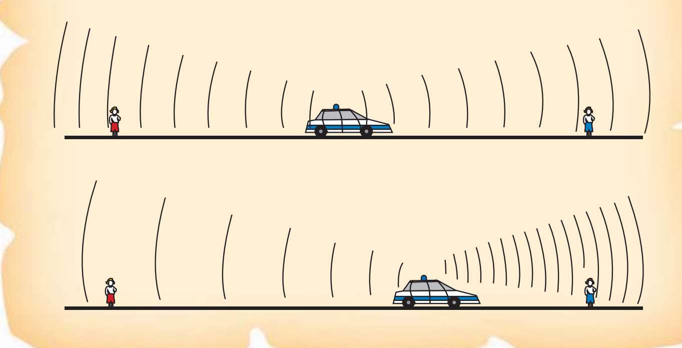
Планета есть у звезды О (омикрон) созвездия Дева

Звезда 51 созвездия Пегас

тическому измерению скоростей 142 солнцеподобных звезд из близкого окружения Солнца и довольно быстро обнаружили «покачивания» звезды 51 Пегаса, удаленной от Солнца на 50 св. лет.

Анализ движения звезды показал, что колебания происходят с периодом 4,23 суток и, очевидно, вызваны влиянием планеты с массой 0,47 массы Юпитера ($M_{ю}$). Удивительное соседство: звезда — желтый карлик, почти точная копия нашего Солнца, и совсем рядом с ней бешено мчится планета-гигант, находящаяся к своей звезде в 20 раз ближе, чем Земля к Солнцу. Ученые не сразу поверили в свое открытие. Однако новые наблюдения подтвердили их вывод.

**Обнаружить экзопланеты смогли и радиоастрономы. Они открыли целую планетную систему на расстоянии около 1000 св. лет от Солнца. Это произошло в ходе исследования радиопульсаров — быстровращающихся нейтронных звезд, излучающих строго периодические радиоимпульсы. Изменение расстояния до источника излучения приводит к изменению длины волны его спектральных линий (эффект Доплера): при удалении источника излучения измеряемая длина волны возрастает, а при приближении — уменьшается.**



## Что мы о них знаем?

В последние годы высокоточными измерениями скоростей звезд для выявления их периодического смещения занимаются несколько групп астрономов. К 2002 г. обнаружено около 80 планетных систем. Все они в основном выявлены по присутствию одной или нескольких планет-гигантов с массами в диапазоне от 0,2 до 11 $M_{ю}$. Около половины этих планет движется по почти круговым орбитам. Остальные же, к удивлению астрономов, имеют вытянутые эллиптические орбиты, совсем не такие, как у планет Солнечной системы. Ученые сходятся во мнении, что формирование данных космических тел в протопланетных дисках (т. е. в газопылевых дисках, окружающих звезды) протекало в несколько иных условиях, чем планет в Солнечной системе.

Важно отметить, что более 20 детально изученных звезд не обнаружили признаков наличия у них планетных систем. Вероятно, крупные планеты есть не у каждой звезды, но все же они встречаются часто. В ходе наблюдений был открыт еще десяток звезд со спутниками массой 17—60 $M_{ю}$, но считать их планетами не совсем справедливо, поскольку на определенном этапе формирования таких тел в их недрах должны были происходить термоядерные реакции. Такие тела следует отнести к семейству маломассивных звезд — коричневых карликов.

Сейчас астрономы проектируют приборы, которые смогут увидеть экзопланеты. Например, изображение яркой звезды можно закрыть специальным экраном, чтобы ее свет не мешал изучать находящуюся рядом планету. Такой прибор называют «звездным коронографом». Другой метод предполагает «гашение» света звезды за счет эффекта интерференции ее световых лучей, собранных двумя или несколькими расположенными рядом телескопами — так называемым «звездным интерферометром». Оба прибора — коронограф и интерферометр — очень чувствительны к влиянию земной атмосферы, поэтому для успешной работы их, видимо, придется доставить на околоземную орбиту.

# Переменные звезды

*За редким исключением физические параметры звезд меняются очень медленно. Однако в некоторых случаях наблюдения невооруженным глазом или в небольшой телескоп можно выявить изменение видимого блеска звезды, которое нельзя объяснить атмосферными явлениями — мерцанием или поглощением в воздушной среде. Такие звезды называют переменными. На языке физики можно сказать, что освещенность, создаваемая этими звездами на границе земной атмосферы, непостоянна во времени.*



Переменные звезды меняют свой блеск

## Звезды-гостьи

Еще в древности были замечены временами вспыхивавшие новые звезды. Они неожиданно появлялись, словно на пустом месте, в течение нескольких ночей становились все ярче, иногда достигая блеска самых ярких звезд на небе, а потом постепенно угасали и исчезали. При этом, пока новая звезда оставалась видимой, ее положение относительно других звезд не менялось.

Поскольку новые звезды появляются на небе редко, их вместе с кометами относили к условной категории «звезды-гостьи», и если астроному доводилось увидеть яркую новую звезду, это было для него неординарным событием. Например, датский астроном Тихо Браге в 1572 г. наблюдал новую (сегодня мы называем ее сверхновой) звезду в созвездии Кассиопеи. Новые и сверхновые звезды считают разновидностью переменных звезд.



Тихо Браге первым в Европе начал проводить систематические высокоточные наблюдения звездного неба

## Открытие переменности

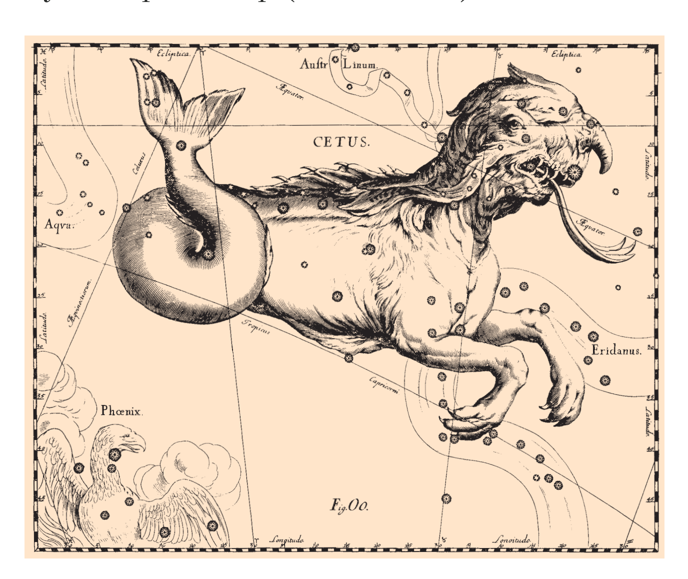
В конце XVI – начале XVII в. была обнаружена первая звезда, которая значительно меняла блеск: то становилась достаточно ярким светилом 2-й звездной величины, то исчезала для невооруженного глаза, но не навсегда, а чтобы через несколько месяцев появиться вновь. Сначала ее сочли новой звездой. Эту яркую новую звезду в созвездии Кит открыл в 1596 г. немецкий астроном Давид Фабрициус (1564–1617).

Впоследствии выяснилось, что ту же звезду наблюдал в 1603 г. и другой немецкий астроном, Иоганн Байер (1572–1635), ничего не знавший о ее переменности. Он включил ее в свой первый полный звездный атлас всего неба. Яркие звезды каждого созвездия в атласе Байера обозначены греческими буквами, что в наше время стало общепринятой нормой. Так, переменная звезда Фабрициуса получила обозначение Омикрон Кита (θ). Открытие Фабрициуса вызвало большой интерес, и звезду θ Кита с тех пор нередко называют Мирой Кита или просто Мирой (от лат. «мира» – «удивительная»).

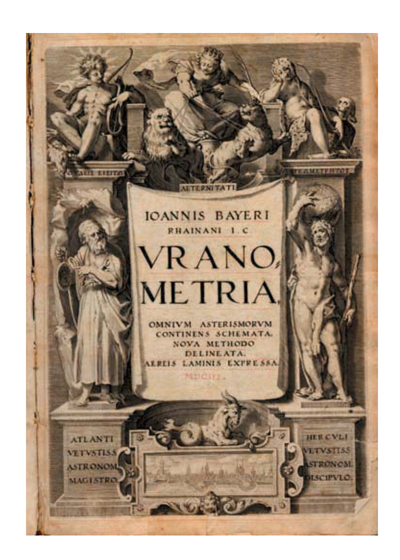
Число известных переменных звезд росло очень медленно. В первом списке, опубликованном в 1786 г. английским любителем астрономии Э. Пиготтом, было 12 звезд, в списке Ф. Аргеландера (1844) – 18, а в каталоге Э. Шёнфельда (1875) – 143. Когда

**Переменные звезды, у которых непостоянство блеска объясняется физическими причинами, подразделяют на несколько групп. Один из самых распространенных типов таких переменных звезд — вспыхивающие звезды. Это красные карлики, которых в Галактике особенно много. Во время вспышки, продолжающейся не больше нескольких минут, блеск звезды может возрасти на несколько звездных величин. К переменным относят взрывающиеся звезды. Важной группой являются пульсирующие переменные звезды. К самому известному типу пульсирующих звезд принадлежат цефеиды.**

в астрономии широкое распространение получили фотографические методы наблюдений, открытия переменных звезд стали массовыми. Так, в Гарвардской обсерватории (США) в начале XX в. было открыто свыше 13 тыс. переменных звезд. Около 10 тыс. переменных звезд обнаружил фотографическим способом основатель и директор Зоннебергской обсерватории (Германия) Куно Гофмейстер (1892—1968).




Созвездие Кит. Гравюра из звездного атласа Я. Гевелия

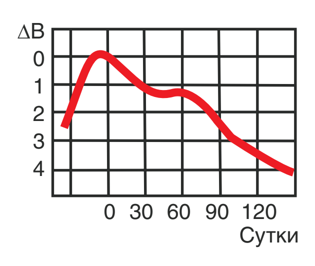



Титульный лист «Уранометрии» — атласа звездного неба, изданного Иоганном Байером в 1603 г.

## Много ли переменных звезд?

В последние десятилетия XX в. как по результатам наземного наблюдения, так и по результатам наблюдений из космоса осуществлено несколько проектов по массовому автоматическому выявлению звезд, меняющих блеск. Специалисты пока точно не определили, какова должна быть минимальная нестабильность блеска для причисления звезды к переменным, поэтому в каталоги переменных звезд включают все звезды, у которых достоверно выявлены даже небольшие изменения.

Наблюдения из космоса показали, что строго постоянных звезд не так много, но звезду считают переменной только после уверенного подтверждения непостоянства ее блеска. Количество звезд нашей Галактики, у которых переменность либо надежно установлена, либо заподозрена, сейчас составляет около 100 тыс. и быстро возрастает.







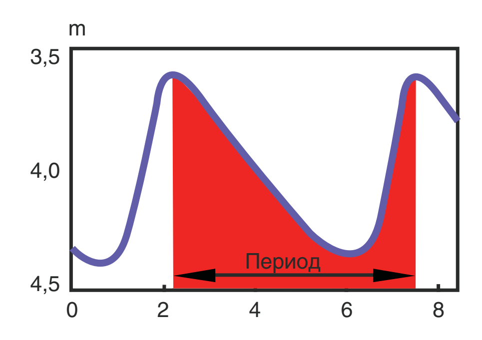
Типичные кривые блеска сверхновых звезд (ΔB — звездные величины)

## Цефеиды

Цефеиды — звезды, мощность излучения которых в десятки тысяч раз больше, чем у Солнца. Это желтые сверхгиганты. Они не принадлежат ни к самым горячим, ни к самым холодным звездам (температура их поверхности в среднем примерно такая же, как и Солнца). Блеск цефеид меняется строго периодически; периоды изменения блеска большинства цефеид — от суток до месяца. В максимальном блеске типичная цефеида становится ярче на одну-две звездные величины, что соответствует увеличению мощности излучения по сравнению с минимальным блеском примерно в 2,5—6 раз.

Сейчас в нашей Галактике известно несколько сот цефеид; еще несколько тысяч обнаружены в других галактиках. Благодаря цефеидам астрономы научились определять расстояния до других галактик. Не случайно цефеиды называют маяками Вселенной.

Цефеиды — сравнительно молодые звезды, в Галактике они заметно концентрируются к ее плоскости и встречаются в рассеянных звездных скоплениях. А вот весьма многочисленные звезды другого типа пульсирующих переменных, звезды типа RR Лиры, в своем большинстве принадлежат к числу самых старых звезд. Их концентрация в галактической плоскости незначительна,

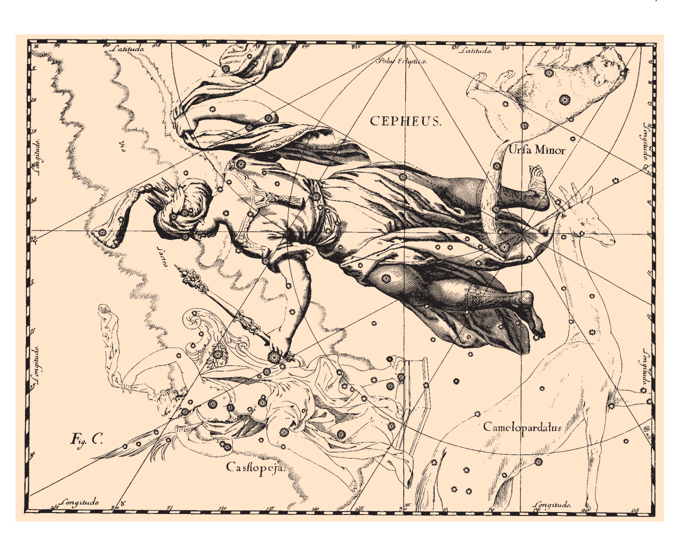



Кривая блеска δ Цефея — прототипа переменных звезд, называемых цефеидами

зато этих звезд очень много в направлении на центр Галактики, в некоторых шаровых звездных скоплениях, являющихся самыми старыми известными в Галактике образованиями (их возраст превышает 10 млрд. лет).

## Пульсация цефеид

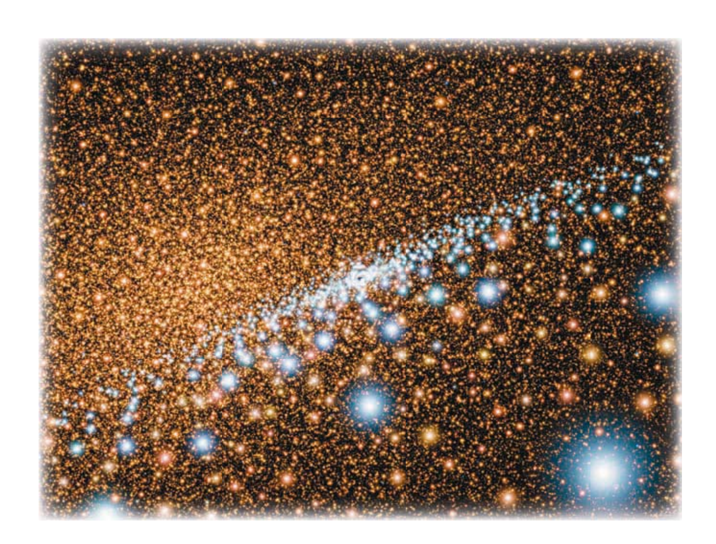
Причина переменности блеска цефеид — радиальные пульсации. Атмосферы цефеид то расширяются, то сжимаются. При сжатии атмосфера звезды разогревается, а при расширении охлаждается. Мы видим цефеиду наиболее яркой, когда она сравнительно небольшая, но горячая. Пульсации цефеид проявляются не только в изменениях блеска. Для любой постоянной звезды можно определить скорость, с какой она движется вдоль луча зрения (лучевую скорость). У цефеид, как показали наблюдения, луче-




Созвездие Цефей. Гравюра из звездного атласа Я. Гевелия



В созвездии Киль находится яркая голубая переменная звезда-гипергигант



Яркие цефеиды хорошо видны среди звезд галактики Туманность Андромеды

вые скорости меняются с тем же периодом, что и блеск: звезда пульсирует, и мы видим, как варьируют скорости атмосферных слоев относительно земного наблюдателя.

Измеряя переменность блеска цефеиды и ее лучевой скорости, можно довольно точно определить размеры звезды и их изменения в ходе пульсаций. Ученым удалось определить взаимосвязь периода переменности цефеид и их светимости: чем больше период переменности, тем больше энергии цефеида излучает в пространство за единицу времени. Вычислив мощность излучения по зависимости период — светимость, можно определить расстояние до цефеиды, а если она входит в звездную систему (звездное скопление, галактику), то и расстояние до этой звездной системы. Зная период цефеиды, можно определить и ее возраст. В 60-е гг. XX в. советский астроном Ю. Н. Ефремов установил: чем больше период цефеиды, тем она моложе.

Однако не следует думать, что блеск любой пульсирующей переменной звезды меняется строго периодически. Даже переменные типа Миры Кита, характеризующиеся довольно регулярным поведением, в точности не повторяют форму кривой блеска и продолжительность интервала между максимумами от одного цикла к следующему.

## Поле для открытий

Исследования переменных звезд играют очень важную роль в астрономии. Детально изучив переменную звезду и поняв причину изменений ее блеска, можно точнее, чем это удается для постоянных звезд, определить ее возраст, массу, размеры. Наблюдение переменных звезд — одна из немногих областей современной науки, где любители астрономии могут оказать реальную помощь профессионалам. Пока не обеспечено постоянное слежение за всем звездным небом, профессиональные астрономы не могут уследить за десятками тысяч переменных звезд. Любители астрономии, в особенности объединенные в ассоциации и работающие во взаимодействии с астрономическими институтами и обсерваториями, следят за изменениями блеска переменных звезд (скажем, звезд типа Миры Кита или цефеид), открывают новые и даже внегалактические сверхновые звезды. Объединения любителей, занимающиеся исследованиями переменных звезд, есть и в России. О наиболее интересных наблюдениях переменных звезд следует сообщать в Отдел изучения Галактики и переменных звезд Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга.

**Наблюдаемая переменность многих звезд обусловлена затмениями: один из компонентов двойной системы, перемещаясь по орбите, временами заходит за другой. Переменность блеска звезды зависит также и от наличия на ее поверхности пятен, темных или светлых. Такая звезда, вращаясь вокруг своей оси, поворачивается к нам то более светлой, то более темной стороной. На некоторых красных карликовых звездах пятна занимают намного большую часть диска, чем на Солнце, и пятенная переменность блеска весьма заметна.**

# Странные звезды

*Все звезды, которые можно наблюдать на небе невооруженным глазом или в небольшой телескоп, принято относить к «нормальным» звездам. Они, как и Солнце, состоят из обычного газа. Однако астрономы встретились и с другими звездами, мало похожими по своим свойствам на обычные. Это так называемые белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры. Все они пережили определенные этапы эволюции. История жизни любой звезды — это история борьбы с собственной гравитацией.*

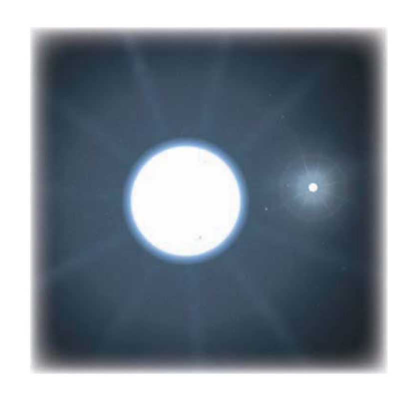


Туманность NGC 2440, в центре — белый карлик

## Белые карлики

К началу 30-х гг. XX в. в общих чертах сложилась теория внутреннего строения звезд. Задавая массу звезды и ее химический состав, теоретики могли рассчитать все наблюдаемые характеристики звезды — ее светимость, радиус, температуру поверхности и т. д. Однако эту стройную картину нарушала невзрачная звездочка 40 Эридана B, открытая английским астрономом Вильямом Гершелем в 1783 г. Для своей высокой температуры она имела слишком небольшую светимость, а следовательно, слишком малые размеры. С точки зрения классической физики это не поддавалось объяснению.

Спустя некоторое время были найдены и другие необычные звезды. Самым знаменитым из этих открытий стало открытие Сириуса B — невидимого спутника самой яркой звезды — Сириуса. Температура Сириуса B оказалась равной 25 000 K — в 2,5 раза выше, чем у яркого Сириуса A. С учетом размеров звезды это указывало на чрезвычайно высокую плотность ее вещества — $10^6$ г/см$^3$. Наперсток такого вещества весил бы на Земле миллион тонн.



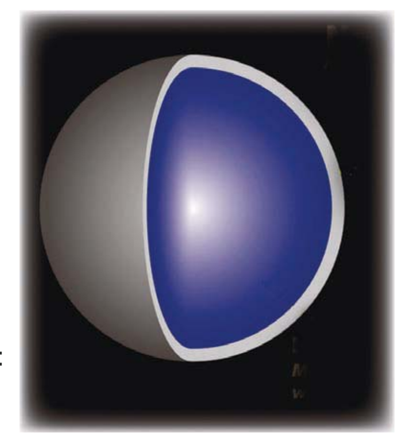
Сравнительные размеры двух компонентов звезды Сириус: Сириус A и Сириус B (белый карлик)

Как оказалось, белые карлики — это звездные «огарки», ведущие свое происхождение от обычных звезд. Равновесие обычных звезд поддерживается силой давления раскаленной плазмы, которая противостоит силе гравитации (тяготения). Чтобы равновесие сохранялось, необходимы внутренние источники энергии, иначе звезда, теряя энергию на излучение потоков света в окружающее пространство, не выдержала бы противоборства с гравитационными силами. Таким внутренним источником служат термоядерные реакции превращения водорода в гелий. Как только в центральных областях звезды «выгорает» весь водород, равновесие нарушается и звезда начинает сжиматься под действием собственной тяжести.

Типичная плотность окружающих нас предметов составляет несколько граммов на 1 см$^3$ (примерно такова характерная плотность атома). Такую же среднюю плотность имеют звезды типа нашего Солнца. Однако, если обычную звезду сжать в 100 раз, атомы «вожмутся» друг в друга и звезда превратится в один гигантский атом, в котором энергетические уровни отдельных атомов «сцепятся» воедино. Электроны тоже обобществятся, образовав единый «газ». Электронный газ станет вырожденным. Звезда превратится в плотное ядро — белый карлик.



Белый карлик по размеру примерно равен Земле, но по массе сравним с Солнцем



Строение нейтронной звезды: тонкая кора окружает ядро

## Нейтронные звезды

Нейтронные звезды (пульсары) — самые странные звезды из всех, с которыми приходилось сталкиваться человеку. Как и белые карлики, они представляют собой звездные «огарки», остающиеся от обычных звезд в конце их эволюции. Но если белые карлики в конце своей жизни превращаются в обычные звезды, типа нашего Солнца, то нейтронные звезды образуются на последнем этапе эволюции звезд с первоначальной массой более 10 масс Солнца.

В этих звездах все сгорает дотла, т. е. до элемента железо. Дальнейший синтез ядер уже не выделяет, а, наоборот, поглощает энергию, поэтому, начав сжиматься, железное ядро уже не может остановиться. Образуется одно гигантское атомное ядро звездной массы. В отличие от обычных атомных ядер, которые образованы из протонов и нейтронов, оно состоит только из нейтронов. Вещество, как принято говорить, нейтронизуется, а звезда превращается в маленький шар фантастической плотности размером всего 10—20 км. Это и есть нейтронная звезда. Образование нейтронной звезды сопровождается сбросом внешних ее оболочек. Это явление наблюдается как вспышка сверхновой.



Остаток сверхновой звезды в галактике Большое Магелланово Облако

Увидеть нейтронную звезду, даже с помощью телескопа, практически невозможно. Но при сжатии звезды возрастают скорость вращения и плотность магнитного поля. В результате нейтронная звезда — сверхплотная, сверхскоростная и сверхнамагниченная! Она, подобно вращающемуся вокруг своей оси прожектору, выбрасывает потоки заряженных частиц. Потоки частиц генерируют радиоволны, в итоге звезда посылает строго периодические импульсы радиоизлучения, т. е. мы наблюдаем пульсар.

Самые внешние части нейтронной звезды там, где давление еще недостаточно для разрушения атомных ядер, обладают необычными свойствами. Как показали расчеты, этот тонкий внешний слой должен обладать свойствами твердого тела и может иметь кристаллическую структуру. Таким образом, нейтронные звезды — это единственный тип звезд, который может иметь твердую поверхность. У других звезд этого нет.

## Концепция черных дыр

Еще в XIX в. французский ученый Пьер Лаплас (1749—1827) предположил существование звезд, настолько массивных, что даже свет не в состоянии вырваться с их поверхности. Его рассуждения были просты. Чтобы в свободном полете покинуть поверхность притягивающего тела, нужно развить начальную скорость, равную второй космической скорости. Для Земли она составляет 11,2 км/с, для Солнца — 600 км/с. Если начать мысленно сжимать звезду, например Солнце, то вторая космическая скорость будет расти. В какой-то момент она возрастет до скорости света, и тогда звезда станет звездой-невидимкой, т. к. даже свет не сможет покинуть ее поверхность.

Так появилась концепция объектов, в 60-х гг. XX в. названных черными дырами. Эти объекты долго будоражили воображение астрофизиков, прежде чем те смогли убедиться в их реальности.

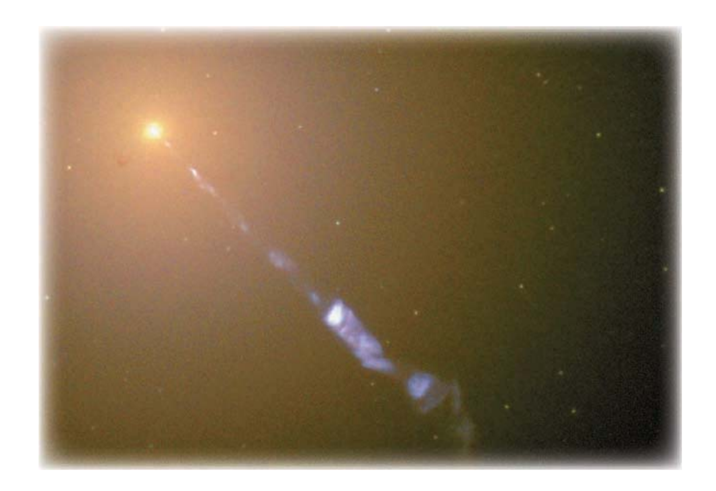
Рассуждения Лапласа были не очень точны, т. к. основывались на ньютоновской механике. Но основной его вывод, что для каждого шарообразного тела существует свое значение радиуса, при сжатии до которого оно превращается в черную дыру, верен. Для Солнца значение этого критического (его еще называют гравитационным) радиуса составляет примерно 3 км, для такого тела, как Земля, — всего лишь 1 см. Если Землю сжать до столь малого размера, то она превратится в маленькую черную дыру.



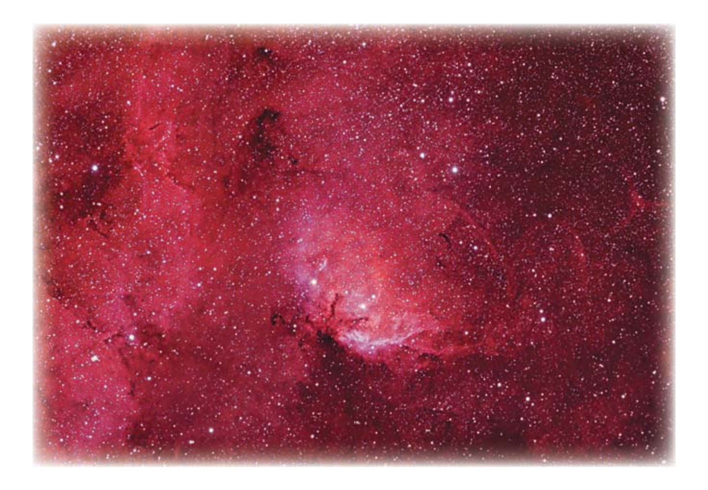
Памятник Пьеру Лапласу на его родине — в местечке Бомон-ан-Ож (Франция)

**По современным представлениям, в черную дыру превращается ядро «прогоревшей» звезды, если масса ядра превышает так называемый предел Оппенгеймера — Волкова, равный 2—3 массы Солнца. При такой массе ядро, сжимаясь, проскакивает и стадию белого карлика, и стадию нейтронной звезды. Гравитация побеждает — в результате образуется черная дыра. Как показывают расчеты, такая судьба ожидает звезды с первоначальной массой более 20 масс Солнца.**

Своим современным обоснованием концепция черных дыр обязана общей теории относительности. В 1916 г. немецкий астроном Карл Шварцшильд (1873—1916), используя ее уравнения, теоретически обосновал возможность существования объектов со сверхсильным гравитационным полем. Вырваться из гравитационных объятий черной дыры нельзя даже с помощью самых мощных двигателей, потому что сила гравитации, удерживающая тело, становится бесконечно большой. Но самый удивительный вывод, пожалуй, в том, что для внешнего наблюдателя черная дыра так никогда до конца и не образуется. В сильном поле тяжести время замедляется. При приближении к гравитационному радиусу замедление времени становится бесконечно большим. Для нас звезда будет бесконечно долго сжиматься до размеров, равных гравитационному радиусу. Вот почему черные дыры иногда называют застывшими звездами. Для космонавта, который опускается на поверхность черной дыры, время за пределами черной дыры начнет идти все быстрее. И за то мгновение, за которое он упадет на черную дыру, для него промелькнет жизнь всей Вселенной.



По мнению ученых, в центре гигантской галактики М 87 действует черная дыра

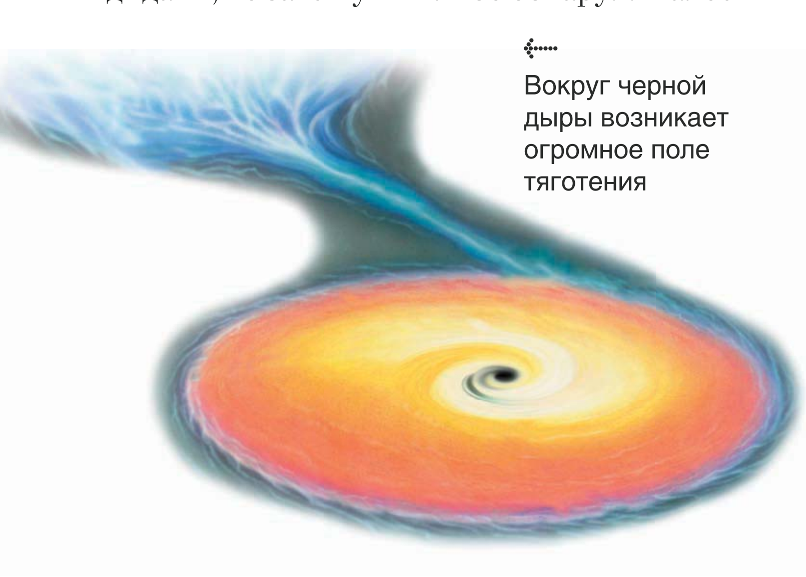


Лебедь Х-1 находится вблизи туманности Тюльпан в созвездии Лебедь

## От теории к практике

Долгое время единственным кандидатом в черные дыры был Лебедь Х-1 — один из наиболее ярких рентгеновских источников в Галактике. Он находится от нас на расстоянии в 6—8 тыс. световых лет. Это двойная звездная система, один из компонентов которой — «звезда-невидимка». По оценкам, ее масса составляет 7—11 масс Солнца, что заведомо превышает предел масс для нейтронных звезд. Кроме того, для Лебедя Х-1 характерно беспорядочное переменное рентгеновское излучение, что еще в начале 1970-х гг. сделало этот объект первым кандидатом в черные дыры в нашей Галактике. Время от времени появлялись и другие кандидаты, но затем у них либо обнаруживалось строго пульсирующее рентгеновское излучение, либо оказывалось неправильным оптическое отождествление.

Самые убедительные свидетельства существования черных дыр в природе получены в конце XX в. Как оказалось, некоторые вспыхивающие рентгеновские звезды (рентгеновские новые) являются двойными системами, в которых нормальная звезда имеет массу порядка массы Солнца, а вот невидимый в оптике компонент — массивный кандидат в черные дыры. На сегодня в нашей Галактике известно более десятка кандидатов в черные дыры. Как полагают, массы звездных черных дыр составляют десятки солнечных масс (вес самого массивного из известных на 2007 г. кандидатов в звездные черные дыры составляет ок. 15 масс Солнца). Считается, что некоторые мощные источники рентгеновского излучения в ближайших галактиках могут представлять собой черные дыры массами в сотни и даже тысячи масс Солнца. И наконец, в центральных областях галактик (в том числе и нашей) находятся сверхмассивные черные дыры массами в миллионы и миллиарды масс Солнца. А некоторые теории предсказывают существование черных дыр микроскопических размеров и массы, оставшихся со времен рождения Вселенной — Большого взрыва. Впрочем, пока они не обнаружены.



Вокруг черной дыры возникает огромное поле тяготения

# Как обнаружили странные звезды?

*В основе наших представлений о странных звездах лежат астрономические наблюдения. Однако нужно учитывать, что свойства белых карликов, нейтронных звезд и черных дыр совершенно различны и открыли их в разное время и с использованием разных методов. Известно много систем, где на звезду извне падают потоки газа. Падающий газ образует вокруг звезды горячий вращающийся диск. Изучение таких дисков позволяет находить необычные звезды в тесных двойных системах.*

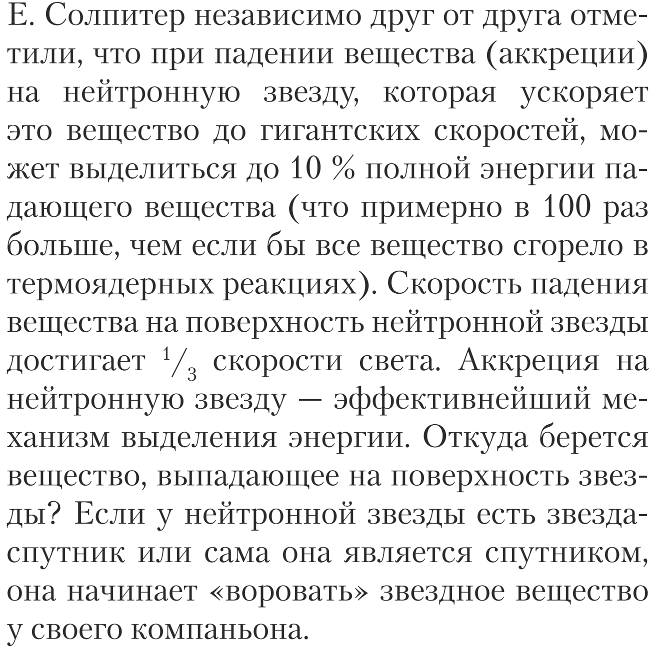


Рентгеновский телескоп в космосе

## Явление аккреции

Белые карлики были открыты давно, хотя из-за маленьких размеров они имеют низкую светимость (в сотни и тысячи раз меньшую, чем Солнце). Белых карликов очень много, они часто встречаются среди ближайших звезд. Чтобы убедиться, что перед нами именно белый карлик, достаточно знать массу и размеры звезды. Среди белых карликов нет звезд, по массе превышающих массу Солнца более чем в 1,4 раза.

Обнаружить нейтронные звезды оказалось труднее — они излучают еще меньше света. Разработке методов поиска нейтронных звезд помогло одно обстоятельство. В 1964 г. советский физик и астрофизик Я. Б. Зельдович и американский астрофизик Е. Солпитер независимо друг от друга отметили, что при падении вещества (аккреции) на нейтронную звезду, которая ускоряет это вещество до гигантских скоростей, может выделиться до 10 % полной энергии падающего вещества (что примерно в 100 раз больше, чем если бы все вещество сгорело в термоядерных реакциях). Скорость падения вещества на поверхность нейтронной звезды достигает $^{1}/_{3}$ скорости света. Аккреция на нейтронную звезду — эффективнейший механизм выделения энергии. Откуда берется вещество, выпадающее на поверхность звезды? Если у нейтронной звезды есть звезда-спутник или сама она является спутником, она начинает «воровать» звездное вещество у своего компаньона.



Так выглядит явление аккреции на нейтронную звезду



Я. Б. Зельдович (1914—1987) за научные достижения был награжден золотой медалью имени И. В. Курчатова



В центре Крабовидной туманности — пульсар, видный в оптическом диапазоне

## Открытие пульсаров

Летом 1967 г. Джосселин Белл, проводя наблюдения в радиотелескоп, обнаружила новый радиоисточник, не похожий ни на какие другие. Он посылал строго периодические импульсы. Позже были найдены еще несколько таких источников, названных пульсарами. Было установлено, что пульсации нейтронных звезд связаны с их вращением.

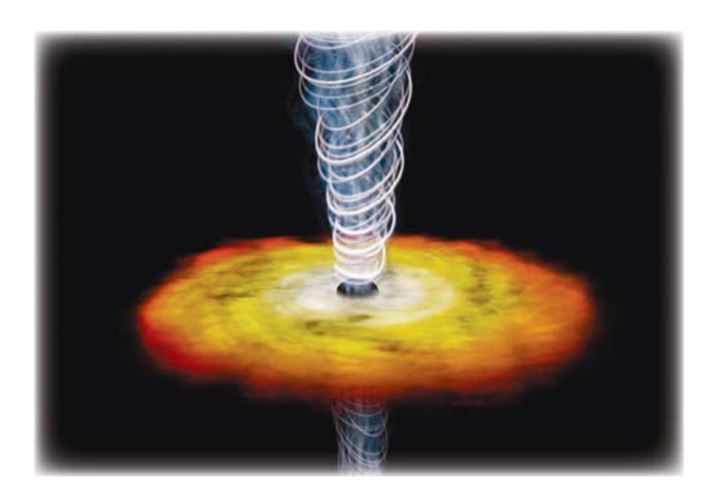
В двойной звездной системе, где нормальная звезда теряет вещество, излучение пульсара проявляется по-другому. Нейтронная звезда притягивает к себе газовый поток, вещество скользит вдоль линий магнитной индукции на магнитные полюсы звезды. В области магнитных полюсов возникают яркие горячие пятна, рождающие мощные потоки рентгеновских лучей. Вследствие вращения звезды достигающее нас рентгеновское излучение становится периодическим, поэтому в двойных системах скорее можно встретить не радио-, а рентгеновские пульсары.

Нейтронная звезда может проявлять себя не только как радио- или рентгеновский пульсар, но и как барстер, который виден во время вспышек рентгеновского излучения. Эти вспышки тоже связаны с аккрецией. Падающее на нейтронную звезду вещество накапливается на ней, а достигнув определенного предела, за несколько секунд сгорает в термоядерном взрыве.

## Аккреционные диски

Долгое время казалось, что черные дыры, даже если они и существуют, никак нельзя обнаружить. У черных дыр нет поверхности, поэтому они не могут излучать периодические радиоимпульсы, а аккреция на черную дыру не приводит к появлению рентгеновского пульсара. Единственное надежное отличие черной дыры — ее масса.

Как и в случае нейтронной звезды, черную дыру можно обнаружить благодаря ее гравитации. Если черная дыра входит в состав двойной системы, она «перетягивает» на себя вещество звезды-компаньона. Вокруг черной дыры образуется так называемый аккреционный диск. Вещество в диске по закрученной спирали приближается к центру и на расстоянии в нескольких десятков гравитационных радиусов нагревается до 100 млн. градусов. В этой зоне и выделяется почти вся энергия аккреционного диска — в форме рентгеновского излучения. Диск разбивается на отдельные горячие области — пятна, которые с огромной скоростью вращаются вокруг черной дыры. Эти пятна, появляясь и исчезая, создают для наблюдателя картину беспорядочной переменности рентгеновского излучения. Именно «видимый беспорядок» отличает черные дыры от нейтронных звезд, по переменности которых можно сверять часы.



При падении вещества на черную дыру образуются джеты — мощные газовые струи

# Взрывающиеся звезды

*Существуют звезды, способные на определенной стадии своей эволюции взорваться и выбросить часть газовой массы в окружающее пространство, освободив колоссальную энергию. К счастью, нашему Солнцу подобное не грозит — это не «взрывоопасная» звезда. Однако астрономы ежегодно фиксируют немало звездных взрывов. Это проявляют себя так называемые новые и сверхновые звезды. Предугадать взрывы нельзя; чтобы открыть новую звезду, надо внимательно следить за небом.*



Остатки сверхновой в созвездии Кассиопея

## Новые

Первыми взрывающимися звездами, которые наблюдали люди, были так называемые новые звезды. В старину новыми звездами называли любые звезды, вспыхивавшие словно на пустом месте (на самом деле там, где раньше была намного более слабая звездочка). Сейчас новыми звездами называют один из типов взрывных, или катаклизмических, переменных звезд (т. е. звезд с непостоянным блеском). Исследования показали, что такие звезды на самом деле являются двойными звездными системами с небольшим расстоянием между компонентами. Компоненты такой пары столь близки, что в системе большую роль играют процессы взаимодействия между ними.

Обычно одной из звезд в системе взрывной переменной является белый карлик, а ее спутником — нормальная звезда. Звездное вещество из поверхностных слоев спутника перетекает на белый карлик. Если на поверхности белого карлика накапливается много вещества из атмосферы спутника, которое богато водородом, то на ней могут резко начаться термоядерные реакции и произойдет вспышка новой звезды. За период от нескольких часов до нескольких суток звезда достигнет максимального блеска, а затем долгие месяцы и даже годы уйдут на угасание вспышки и рассеяние сброшенной белым карликом газовой оболочки.

Сама звезда при взрыве не разрушается. Вот почему новая звезда может вспыхивать повторно. У «классических» новых звезд между вспышками проходят тысячелетия. Однако известны и «повторные» новые звезды, у которых интервал между вспышками составляет всего несколько десятков лет.



Стрелкой показана открытая в 2004 г. сверхновая звезда в созвездии Жираф

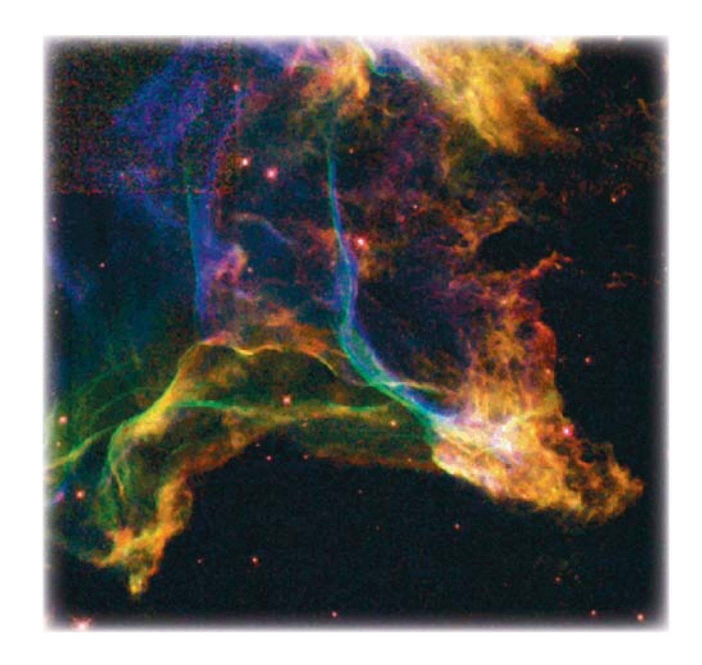


Яркая сверхновая звезда в галактике NGC 4526 (вспыхнула в 1994 г.)

## Сверхновые

Сверхновые звезды имеют иную природу, несмотря на внешнее сходство наблюдаемых явлений с новыми звездами. Вспышка сверхновой звезды обычно знаменует последний, катастрофический этап эволюции звезды, когда она теряет равновесие и быстро сжимается под своей тяжестью, исчерпав все источники термоядерной энергии.

В результате вспышки сверхновой звезды образуется нейтронная звезда, или черная дыра, окруженная постепенно рассеивающимся газовым образованием — остатком сверхновой звезды. Итак, сверхновые звезды, как и новые, — не только что возникшие звезды, а уже успевшие «постареть». В отличие от новых, сверхновые звезды не могут вспыхивать повторно.



Остаток сверхновой — газовая туманность Фата в созвездии Лебедь

Вспышка сверхновой звезды — очень редкое явление. В нашей Галактике сверхновых звезд не наблюдалось с 1604 г. Наблюдавшиеся в старину сверхновые становились на время самыми яркими звездами на небе, некоторые из них были видны даже днем. Благодаря прогрессу в технике астрономических наблюдений каждый год открывают все больше сверхновых звезд в других галактиках, в последнее время — по нескольку десятков в год.

Спектры сверхновых звезд не похожи на спектры обычных звезд. Яркие широкие линии спектра свидетельствуют о разлете больших масс газа при взрыве со скоростями в тысячи километров в секунду. Остатки сверхновых звезд могут наблюдаться десятки тысяч лет после взрыва. Это важнейшие источники быстрых частиц, т. е. космических лучей в нашей Галактике. В мире туманностей, населяющих нашу Галактику, астрономы научились достаточно уверенно выявлять газовые остатки сверхновых звезд. Некоторые из них — довольно компактные образования, другие имеют очень большие размеры и волокнистую структуру. Некоторые из остатков сверхновых являются довольно мощными источниками рентгеновского излучения. Выброшенное вещество может участвовать в образовании звезд следующего поколения и формировании планет.



**Первооткрывателями ярких новых звезд вполне могут стать непрофессионалы. Для этого нужно хорошо знать узоры созвездий, не путать с новыми звездами проходящие через зодиакальные созвездия яркие планеты, уметь хотя бы приблизительно определять координаты замеченной новой звезды. В декабре 1999 г. в созвездии Орел вспыхнула новая звезда. Ее открыл португалец А. Перейра в бинокль. Прежде чем совершить открытие, он выучил наизусть видимые положения нескольких тысяч звезд.**

# Как долго живут звезды?

*Нас окружают звезды самого разного возраста. Солнце — сравнительно старая звезда, как и планеты, вращающиеся вокруг него. По оценкам геологов, возраст Земли — около 5 млрд. лет, возраст Солнца должен быть не меньшим. Возраст абсолютного большинства звезд нашей Галактики — такой же, как у Солнца, или больше. В то же время многие звезды образовались совсем недавно, а некоторые давно закончили свой жизненный путь. Процесс рождения и умирания звезд непрерывен.*



Молодое звездное скопление в созвездии Единорог

## Определение возраста

Астрофизики детально разработали теории эволюции звезд. В наше время известно, как образовавшаяся звезда перемещается на главную последовательность диаграммы Герцшпрунга — Рассела, после долгого этапа уходит с нее, становится красным гигантом или сверхгигантом и в конце концов заканчивает свою жизнь, как белый карлик, нейтронная звезда или черная дыра. Оценив массу звезды и найдя ее на диаграмме, можно узнать возраст звезды. Многое о возрасте звезды может сказать ее положение в Галактике, движение по орбите, химический состав атмосферы. Молодые звезды, как правило, обнаруживаются близко к основной плоскости Млечного Пути, они движутся по почти круговым орбитам вокруг центра Галактики. Очень старые звезды возрастом около 10 млрд. лет могут находиться и на весьма больших расстояниях от галактической плоскости (до нескольких килопарсек). Как правило, их галактические орбиты — сильно вытянутые эллипсы.

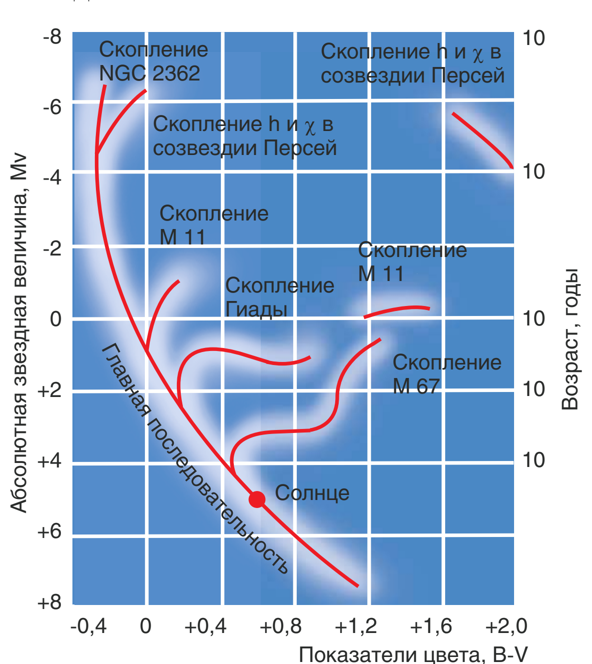



Диаграмма Герцшпрунга — Рассела, составленная для нескольких звездных скоплений

## Масса и время жизни

Массивные звезды эволюционируют намного быстрее, чем звезды малых масс. Звезда очень большой массы успевает пройти весь свой жизненный путь и стать сверхновой за тот период, которого самым легким звездам хватает лишь для того, чтобы прийти на главную последовательность. Соотношение возраста и отпущенного звезде времени жизни можно рассматривать как показатель молодости или старости звезды.

Самые молодые звезды мы наблюдаем в областях звездообразования, близ ярких газовых туманностей. Они находятся на стадии образования или только что образовались из газовой среды, «проклюнулись» из непрозрачных околозвездных «коконов», на их поверхность продолжает падать газовое вещество из окружающего пространства. Эти активные процессы проявляются в переменности блеска молодых звезд.



Скопление молодых звезд в туманности Розетка



Шаровое скопление в созвездии Тукан — второе по яркости в нашей Галактике

## Возраст звездных скоплений

Особенно надежно определяется возраст звездных скоплений. Звездное скопление — это группа звезд различной массы, которые сформировались практически одновременно из вещества с почти одинаковым содержанием химических элементов. Сравнив диаграмму Герцшпрунга — Рассела звездного скопления с теоретической последовательностью, т. е. последовательностью, которую должны образовывать на этой диаграмме звезды разной массы, но одного возраста и химического состава, астрофизики могут оценить возраст скопления.

У очень молодых звездных скоплений (с возрастом около 1 млн. лет) правая нижняя часть наиболее «населенной» последовательности диаграммы Герцшпрунга — Рассела проходит выше теоретической главной последовательности. Это результат того, что самые маломассивные звезды молодых скоплений еще не достигли эволюционного этапа главной последовательности и только приближаются к ней справа. У более старых скоплений (десятки миллионов лет) становится заметным загиб вправо верхнего конца главной последовательности.

Масса звезд вдоль главной последовательности убывает сверху вниз. Самые массивные звезды рассматриваемых скоплений уже завершают эволюционную стадию главной последовательности и начинают уходить с нее вправо. Место этого загиба обычно называют точкой поворота главной последовательности. Чем старше скопление, тем дальше точка поворота сдвигается вправо вниз (в сторону меньшей светимости и более низкой температуры поверхности звезд). У самых старых шаровых скоплений (около 10 млрд. лет и больше) на главной последовательности вообще нет ярких горячих звезд. Они уже давно успели пройти все эволюционные этапы,

**Теоретики предсказывают, что Солнце останется на главной последовательности еще примерно 5—6 млрд. лет, и если в шаровых скоплениях звезды солнечного типа уже отсутствуют на главной последовательности, значит, возраст таких скоплений (и возраст населяющих их звезд) должен превышать 10 млрд. лет.**

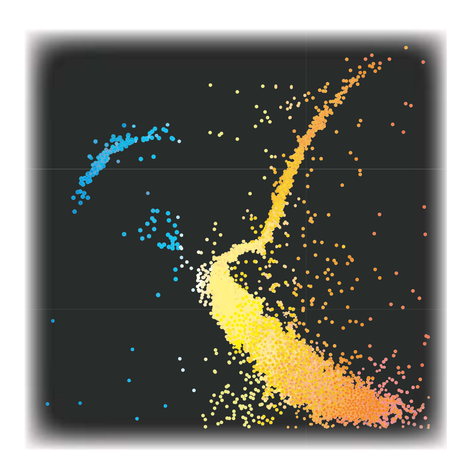


Диаграмма Герцшпрунга—Рассела для шарового звездного скопления М 55

# Образование и эволюция звезд

*Звезды рождаются, взрослеют, стареют и умирают. Горячая массивная звезда главной последовательности диаграммы Герцшпрунга — Рассела (например, Ригель — β Ориона) излучает настолько много света, что ее запасов термоядерной энергии может хватить только на несколько миллионов лет. Галактика же существует, несомненно, больше 10 млрд. лет. Это означает, что подобные звезды появились по галактическим меркам совсем недавно и процесс образования звезд продолжается.*

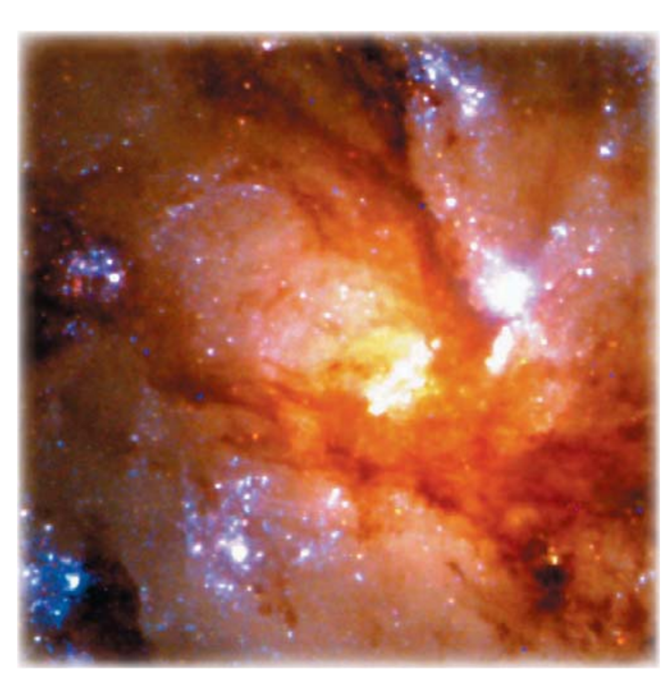


Так выглядит звезда Ригель с расстояния 1 а. е.

## Протозвезда

Астрофизики считают, что звезды формируются из газовых (точнее, газопылевых) облаков, существующих в межзвездном пространстве. Немало таких облаков находится вдоль полосы Млечного Пути. Межзвездные облака в оптических лучах наблюдаются как туманности. В газовых туманностях есть области менее плотные и более плотные. Самые плотные области (глобулы) состоят из очень холодного газа и пыли.

Самые большие запасы газа и пыли находятся в гигантских молекулярных облаках. При определенных условиях (внутреннего состояния облаков либо влияния на них окружающих их звезд) в недрах молекулярных облаков газ начинает делиться на сжимающиеся фрагменты. Газовый зародыш сжимается благодаря собственной гравитации и при этом медленно разогревается. Светящийся сжимающийся газовый шар, которому предстоит стать звездой, астрономы называют протозвездой. Окружающая ее непрозрачная среда мешает наблюдению этого процесса, но протозвезды можно увидеть в инфракрасных лучах.



Область активного образования новых звезд в галактиках созвездия Ворон

Образование звезды может растянуться на миллионы лет. Сжатие протозвезды будет продолжаться до тех пор, пока в ее недрах температура не возрастет до миллионов градусов. Тогда в центре облака в полную силу начнут происходить термоядерные реакции превращения водорода в гелий. Выделяющаяся энергия будет нагревать газ, и его давление остановит сжатие. Это обязательно произойдет, если масса образующейся звезды составляет не меньше 0,07 массы Солнца (иначе температура никогда не поднимется до того значения, при котором начинаются термоядерные реакции, и протозвезда будет медленно сжиматься до состояния вырожденной звезды — белого карлика). Как только «включатся» термоядерные реакции, протозвезда станет молодой звездой главной последовательности диаграммы Герцшпрунга — Рассела.

**Схематически описанная картина звездной эволюции может быть названа классической. Она относится к эволюции звезды, которая достаточно удалена от других звезд и развивается, можно сказать, сама по себе. Однако большинство звезд во Вселенной не являются одиночными. Тесная пара звезд, вращающихся вокруг общего центра масс, не может эволюционировать по классической схеме. Кроме того, эволюция звезд, масса которых намного превышает солнечную, может заметно отличаться от описанного варианта. Прежде чем превратиться в нейтронную звезду или черную дыру, массивная звезда обязательно проходит этап гравитационного коллапса, который наблюдается как взрыв сверхновой звезды.**

## Молодая звезда

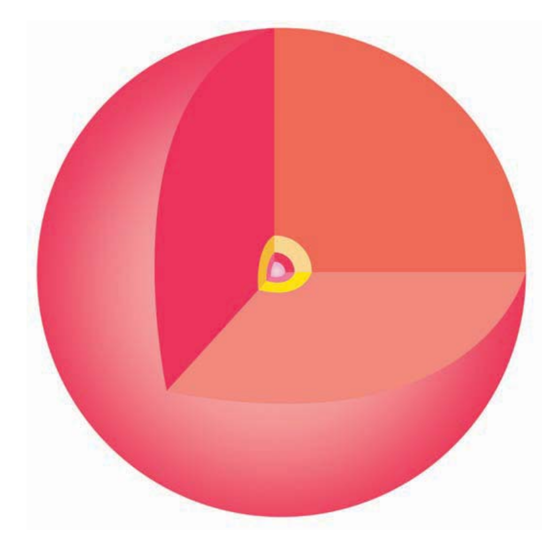
Стадия главной последовательности — самая длительная стадия эволюции звезды. Чем меньше масса звезды, тем продолжительнее эта стадия. (Для Солнца эта стадия составит около 10 млрд. лет.) Звезды всегда образуются группами. Молодые звезды нередко составляют ассоциации — сравнительно рыхлые звездные группировки, наблюдающиеся в областях звездообразования. Среди таких звезд много переменных, и переменность их блеска свидетельствует о еще не завершившихся бурных процессах, сопровождающих рождение звезды. Во многих случаях наблюдаются выбросы газовых струй (джетов) из молодых звезд.

Окончание эволюционного этапа главной последовательности происходит тогда, когда запасы основного термоядерного «горючего» (водорода) в центральной области звезды оказываются израсходованными. После этого звезда начинает медленно увеличиваться в размерах в десятки и сотни раз.

## Красный гигант и белый карлик

Следующая стадия — образование красного гиганта. У звезды, ставшей красным гигантом, энергию также производят термоядерные реакции превращения водорода в гелий, но идут они не в центре звезды, где образовалось гелиевое ядро, а в окружающем такое ядро тонком сферическом слое. Сама звезда при этом сильно растет в размерах, а температура поверхностных слоев уменьшается (уменьшение температуры вызывает покраснение).

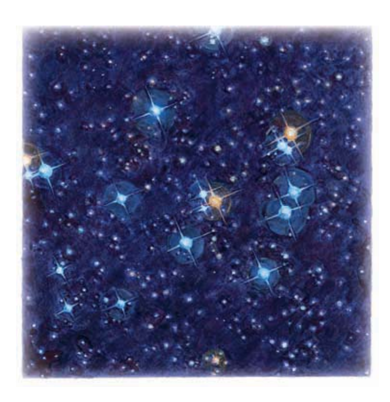
В последующем в центральной области такой звезды, где образовалось много гелия, должна начаться реакция по его превращению в углерод. Реакции выйдут из центральной области, возникнет и начнет продвигаться наружу второй гелиевый слоевой источник энергии. Закончится все это сбросом оболочки звезды, и звезда превратится в планетарную туманность. Звездный остаток — очень плотный белый карлик — начнет постепенно охлаждаться. Совсем остыв, белый карлик должен превратиться в практически не светящееся тело размером с планету и массой с небольшую звезду. Однако это может произойти только через много миллиардов лет, пока же остывших белых карликов в природе не существует.



Строение красного гиганта: огромная конвективная зона и маленькое ядро

# Звездные скопления

*Звезды распределены в пространстве очень неоднородно. Есть одиночные звезды (такие, как Солнце), двойные и кратные звезды. Однако самые впечатляющие системы звезд — это звездные скопления. В отличие от созвездий, в которых звезды лишь случайно видны на небе рядом, но не связаны ни происхождением, ни расположением, звездные скопления — это группы звезд, которые родились в одно время из одного облака межзвездного газа и связаны силами взаимного тяготения.*



Рассеянное звездное скопление Ясли

## Открытие скоплений

Некоторые скопления звезд были открыты еще до изобретения телескопа. Это Плеяды, Гиады, Ясли. Кроме того, в созвездии Волосы Вероники с давних пор наблюдалась россыпь слабых звезд, что и послужило причиной названия этого созвездия. Еще несколько скоплений видны невооруженным глазом как слабые «туманные звезды», но догадаться об их истинной природе до изобретения телескопа было невозможно.

В XVII в. с помощью телескопа было открыто множество звездных скоплений. В одном из первых каталогов «туманных объектов» — каталоге Шарля Мессье, составленном в 1781 г., содержится 103 объекта, из них 57 — звездные скопления. На сегодняшний день в нашей Галактике открыто уже около 2 тыс. звездных скоплений. Разумеется, это лишь малая их часть.

## Рождение и эволюция

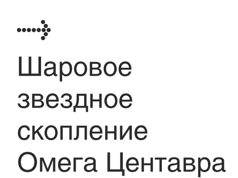
Скопления звезд рождаются в недрах холодных облаков межзвездного газа и пыли (*см.* Образование и эволюция звезд). Судьба возникшего звездного коллектива может быть разной в зависимости от того, много ли в нем звезд, как близко они расположены и насколько велики их взаимные скорости.

Если в момент разрушения облака звезды располагались сравнительно далеко друг от друга и не ощущали сильного взаимного притяжения, а их скорости при этом были значительны, они не смогут долго удержаться вместе и разлетятся менее чем за миллион лет.

Если же родилась плотная и многочисленная группа звезд, крепко связанных силами взаимного притяжения, она образует устойчивый «рой», который долго будет жить в виде звездного скопления.



Рассеянное звездное скопление в созвездии Киль



Шаровое звездное скопление Омега Центавра





**Самое известное звездное скопление — Плеяды, еще его называют Стожары. Это маленький «ковшик» в созвездии Тельца. Невооруженный глаз видит в Плеядах 5—7 звезд, но это лишь самые яркие. В бинокль видно около 50 звезд, а всего в этом скоплении их более 300. Плеяды занимают на небе область диаметром 7 пк и удалены от нас примерно на 150 пк. Это относительно молодое скопление. Его возраст — около 100 млн. лет. Лишь немногие звездные скопления имеют свои имена, в основном они обозначаются номерами по какому-либо каталогу.**

## Типы скоплений

Звездные скопления принято делить на несколько типов в зависимости от их внешнего вида, возраста и количества звезд. Наиболее известны три типа: шаровые скопления, рассеянные скопления (иногда их еще называют «открытыми» или «галактическими») и звездные ассоциации.

Шаровые скопления — самые плотные и массивные. Они содержат до нескольких миллионов звезд (в среднем — около 200 тыс.). Это старые скопления. С момента их формирования прошло 10—15 млрд. лет, поэтому их звезды, имевшие бóльшую массу, чем масса Солнца, уже закончили свою эволюцию (светить продолжают только звезды малых масс). Первый туманный объект М 22, который причисляют к шаровым скоплениям, открыл в созвездии Стрелец с помощью телескопа в 1665 г. немецкий астроном А. Иль. Следующим было открыто скопление ω Центавра, его обнаружил в 1677 г. английский астроном Эдмонд Галлей. Пока в нашей Галактике найдено около 150 шаровых скоплений. Всего же их, вероятно, около 200. Они обнаруживаются по всему объему Галактики, особенно ближе к ее центру. Рассеянные скопления содержат от нескольких десятков до нескольких тысяч звезд (в среднем — 200—300). Эти скопления, как правило, располагаются вблизи галактической плоскости и наблюдаются в полосе Млечного Пути. Звезды в рассеянных скоплениях значительно моложе, чем в шаровых: обычно им не более 1 млрд. лет. Здесь много массивных ярких звезд.

Как правило, шаровые скопления выглядят плотнее рассеянных и имеют более правильную, симметричную форму. Однако по фотографии не всегда можно отличить рассеянное скопление от шарового: у далеких шаровых скоплений видны только самые яркие звезды. Сейчас известно около 1500 рассеянных скоплений.

Звездные ассоциации — это еще более разреженные группировки звезд, чем рассеянные скопления. Ассоциации расположены в спиральных рукавах Галактики, там, где сконцентрировано межзвездное вещество и рождаются звезды. Известно менее 100 ассоциаций, все они состоят из молодых, ярких и массивных звезд. Часто звезды ассоциации разлетаются от общего центра, где они когда-то родились.

Эдмонд Галлей был королевским астрономом, директором Гринвичской обсерватории



# Межзвездная среда и туманности

*Все пространство между звездами заполнено очень разреженной средой. Частично это газ, потерянный звездами различных поколений, частично — остатки того древнего вещества, из которого сформировались первые звезды нашей Галактики. Кроме того, жизнь массивных звезд заканчивается колоссальным взрывом-вспышкой, при котором внешние слои разлетаются с огромной скоростью. Следы этой космической катастрофы остаются в межзвездной среде как остатки вспышки сверхновой.*



Туманность Трилистник в созвездии Стрельца

## Каталоги туманностей

Невооруженным глазом мы видим на звездном небе только светящиеся точки на черном фоне. Но чем совершеннее становился телескоп, тем больше странных «туманных звезд», или туманностей, обнаруживали астрономы. Поначалу туманности воспринимались как объекты, мешающие увидеть новые кометы. Самые усердные из наблюдателей стали составлять списки неподвижных туманностей, чтобы не путать их с долгожданными «хвостатыми гостьями». Первым такой «черный список» из шести туманностей составил в 1714 г. англичанин Эдмонд Галлей (1656—1742). Французские астрономы Шарль Мессье (1730—1817) и Пьер Мешен (1744—1804) обнаружили уже 103 туманности.

**Кроме холодных и нагретых облаков, а также разреженного межоблачного газа межзвездное пространство заполнено редкими, но очень энергичными частицами «космических лучей» — электронами, протонами и ядрами атомов, движущимися почти со скоростью света. Некоторые из них достигают нижних слоев атмосферы или даже поверхности Земли и являются единственными представителями межзвездного вещества, которое удается непосредственно регистрировать.**



Джон Гершель неоднократно избирался председателем Королевского астрономического общества

Возможно, еще долго никто не обратил бы особого внимания на туманности, если бы не семья великих астрономов — Гершелей. Вильям Гершель в 1786 г. издал «Каталог тысячи туманностей и звездных скоплений». Сын Вильяма — Джон Гершель (1792—1871) в 1864 г. издал «Общий каталог туманностей и звездных скоплений», содержащий данные о 5079 объектах. Во второй половине XIX в. уже была уверенность, что между звездами «что-то есть». Изобретение фотопластинки позволило обнаруживать недоступные глазу, слабосветящиеся небесные объекты. Число туманностей в каталогах к началу XX в. перевалило за 10 тыс.

## Межзвездный газ

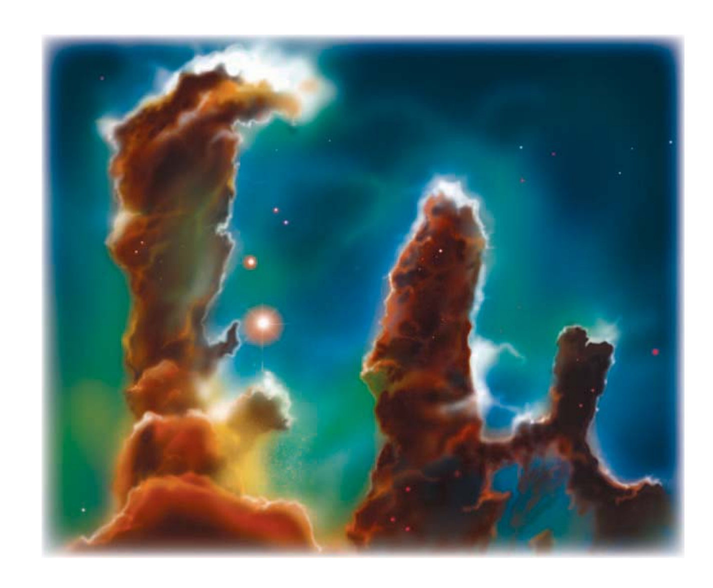
Хотя яркие туманности и выглядят эффектно, в них заключена ничтожная доля межзвездной среды, а большая ее часть скрывается в темных и очень холодных облаках молекулярного газа, имеющих температуру всего 10—50 К. Этот газ — преимущественно смесь водорода и гелия. Средняя плотность газа в межзвездной среде очень мала — меньше одного атома в расчете на 1 см$^3$, хотя встречаются и в тысячу раз более плотные облака. На 1000 атомов водорода приходится около 100 атомов гелия и 2—3 атома всех более сложных элементов таблицы Менделеева (прежде всего, кислорода, углерода и азота).

В Галактике обнаружены и обширные области размером в сотни световых лет, заполненные очень горячим и разреженным газом с температурой 1—2 млн. К. Потоки видимого света от такого газа слишком слабы. Горячий газ излучает в основном рентгеновские лучи и наблюдается с помощью рентгеновских телескопов. Области горячего газа порождают массивные звезды, и прежде всего взрывы сверхновых звезд, нагревающих и заставляющих расширяться окружающую межзвездную среду.

Наиболее эффектно межзвездный газ выглядит в эмиссионных (излучающих свет) туманностях, таких, как Большая туманность Ориона, а также в планетарных туманностях, окружающих стареющие звезды, которые сбросили с себя часть газа. В этих ярких туманностях газ нагрет до температуры в несколько тысяч кельвинов, как на поверхности Солнца. Эмиссионные туманности светятся благодаря тому, что внутри них или рядом с ними есть молодые горячие звезды-сверхгиганты, а каждую планетарную туманность освещает изнутри горячее ядро состарившейся звезды.



Большая Туманность Ориона — самая яркая диффузная туманность



Столбы газопылевых облаков в туманности Орел созвездия Змея

## Космическая пыль

В темных облаках звездный свет в основном поглощает не газ, а смешанные с ним микроскопические твердые частицы — космические пылинки размером не более тысячной доли миллиметра. Внутри каждой пылинки — твердое ядрышко (графитовое или силикатное с примесью железа), покрытое снаружи ледяной «шубой» из легких элементов. Хотя по массе космическая пыль составляет лишь около 1 % межзвездного вещества, это очень важная его часть. Пылинки поглощают звездный свет и преобразуют его в невидимое инфракрасное излучение. Ядрышки пылинок, вероятно, образуются в атмосферах холодных звезд-гигантов и выбрасываются затем в межзвездное пространство, где остывают и покрываются «шубой» из летучих элементов.



Область активного образования звезд. Снимок телескопа «Хаббл»



Туманность Тарантул в созвездии Золотая Рыба

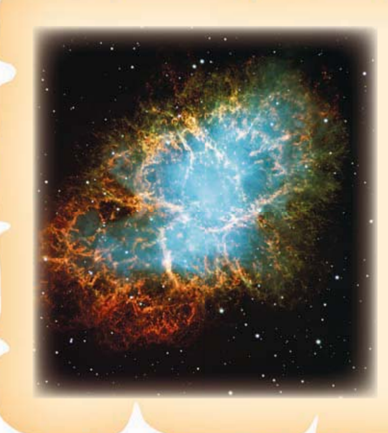
## Что происходит в межзвездной среде?

Звезды и межзвездная среда тесно связаны друг с другом. Из вещества холодных облаков рождаются звезды. Своим излучением они нагревают остатки родительского облака и распыляют их по диску Галактики. Потоки звездного ветра и взрывы сверхновых звезд постоянно перемешивают межзвездную среду, заставляя ее «кипеть и пузыриться», взлетать фонтанами над диском Галактики и падать, подобно хлопьям снега. Постепенно маленькие хлопья межзвездных облаков слипаются в гигантские газопылевые комплексы, непрозрачные для света окружающих звезд и потому лишенные источников тепла. Остывая и уплотняясь под действием гравитации, эти облака распадаются на плотные фрагменты — протозвезды — зародыши звезд нового поколения. В среднем в Галактике ежегодно рождается около 10 звезд — не так уж много на фоне грандиозных процессов, наблюдаемых в межзвездной среде. Но в некоторых соседних галактиках звезды формируются значительно активнее — до 1000 светил в год. Такие галактики сияют, как новогодние ели.

## Остатки вспышек сверхновых звезд

Исследования, проведенные с помощью наземных и космических телескопов, показали, что остаток вспышки сверхновой звезды — это сложный комплекс явлений, наблюдающихся в течение десятков и даже сотен тысяч лет после взрыва и охватывающих область межзвездной среды размером около сотни световых лет. Остаток сверхновой включает несколько газовых компонентов разной плотности и температуры, твердые частицы (пыль), субатомные частицы (космические лучи) и магнитное поле.

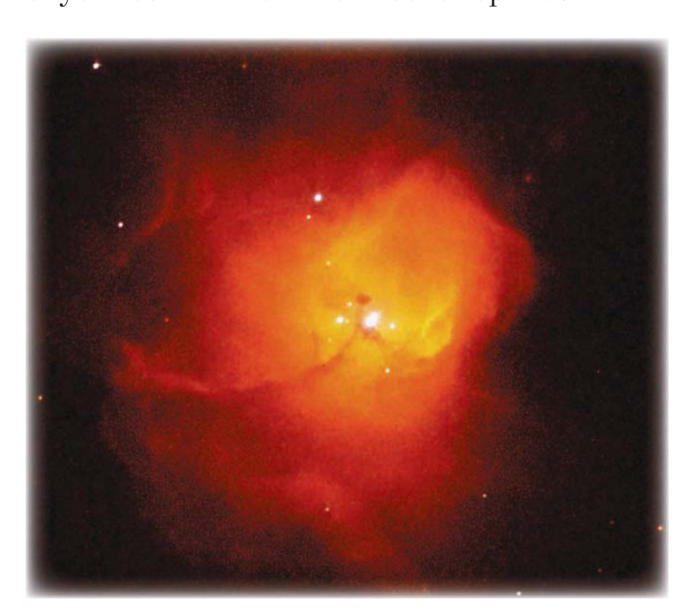
Масса выброшенного при взрыве сверхновой звезды вещества достигает нескольких



**В нашей Галактике обнаружены сравнительно молодые остатки сверхновых звезд, вспышки которых произошли за последнюю тысячу лет. Наиболее известны Крабовидная туманность (остаток вспышки 1054 г.), Кассиопея А (вспышка не наблюдалась, но по разлету вещества она датируется 1680 г.), остатки сверхновых Тихо Браге (1572) и Кеплера (1604). Эти молодые остатки наблюдаются как оптические туманности, яркие источники рентгеновского, инфракрасного и радиоизлучения. Скорость их расширения еще достаточно велика — от 2000 до 6000 км/с; размер— от 2 до 4 пк.**

масс Солнца, скорость его разлета может составлять 10—20 тыс. км/с. Вместе с этим веществом в окружающую межзвездную среду выбрасывается кинетическая энергия около 1044 Дж. Разлет вещества со сверхзвуковой (для межзвездного газа) скоростью создает ударные волны, которые распространяются по окружающему газу, «сгребая» его в оболочку и нагревая до высокой температуры.

Через десятки и сотни лет на месте катастрофы наблюдаются нагретые ударными волнами плотные сгустки вещества взорвавшейся звезды и плотные конденсации околозвездного газа, возможно выброшенные самой звездой (предшественником сверхновой) еще до взрыва. Старые остатки сверхновых достигают в диаметре десятков парсеков (и даже сотен, если остаток расширяется в среде очень низкой плотности). По мере замедления скорости разлета и остывания горячего газа рентгеновское излучение остатка сверхновой ослабевает. Когда скорость расширения оболочки сравнивается со скоростью хаотических движений газовых облаков в диске Галактики (около 8 км/с), остаток сверхновой становится неразличимым в межзвездной среде, но это происходит спустя сотни тысяч лет после взрыва.



Яркая газовая туманность в галактике Малое Магелланово Облако



Планетарная туманность взрывообразной формы Песочные Часы в созвездии Муха

## Сверхновые и кругооборот вещества

Взрывы сверхновых регулируют физическое состояние межзвездной среды в галактиках, подобных нашей. Особенно хорошо это заметно в области молодых звездных ассоциаций, куда входят десятки и сотни массивных звезд. Здесь взрывы сверхновых происходят чаще и на более близком расстоянии друг от друга, чем в среднем по галактике. В результате множественных взрывов в богатых звездных ассоциациях формируются массивные расширяющиеся сверхоболочки размером в сотни парсеков, иногда до 1—2 кпк (килопарсек). Существенную роль в образовании сверхоболочек играет также непрерывное истечение вещества с поверхности звезд — звездный ветер.

Сверхоболочки хорошо видны на фотографиях близких галактик, например Большого Магелланова Облака. Расширяющиеся сверхоболочки сталкиваются с близлежащими молекулярными облаками, стимулируют их гравитационное сжатие, способствуя тем самым образованию нового поколения массивных звезд.

Так происходит кругооборот вещества в Галактике: массивные звезды образуются в гигантских молекулярных облаках и в конце жизни взрываются как сверхновые; совместное действие звездного ветра и взрывов сверхновых приводит к эрозии облака и к образованию гигантских оболочек вокруг ассоциаций; их расширение порождает новую волну звездообразования в облаке.





# Мир галактик

**Солнечная система — маленький островок в нашей огромной Галактике, называемой Млечный Путь. Это гигантское образование состоит из разных звезд, межзвездного газа и пыли, космических лучей. Все они взаимодействуют друг с другом. Изучение нашей Галактики — чрезвычайно сложная задача. Что уж говорить о других галактиках, заполняющих Вселенную. Сейчас их известно уже свыше миллиарда! В данном разделе вы узнаете, какие бывают галактики и как они устроены, как ближайшие галактики влияют друг на друга.**

# Галактика — наш звездный дом

*Название «Млечный Путь» возникло в давние времена, когда люди еще не догадывались о природе небесных светил. По древнегреческому мифу, струя молока брызнула на небо из груди богини Геры, когда она кормила младенца Геракла. Греческое слово «галактикос» означает «млечный». В настоящее время понятие «Млечный Путь» означает, прежде всего, нашу звездную систему — гигантскую Галактику, состоящую из сотен миллиардов звезд, в число которых входит и Солнце с планетами.*



Я. Тинторетто. «Рождение Млечного Пути». 1570 г.

## Что такое Млечный Путь?

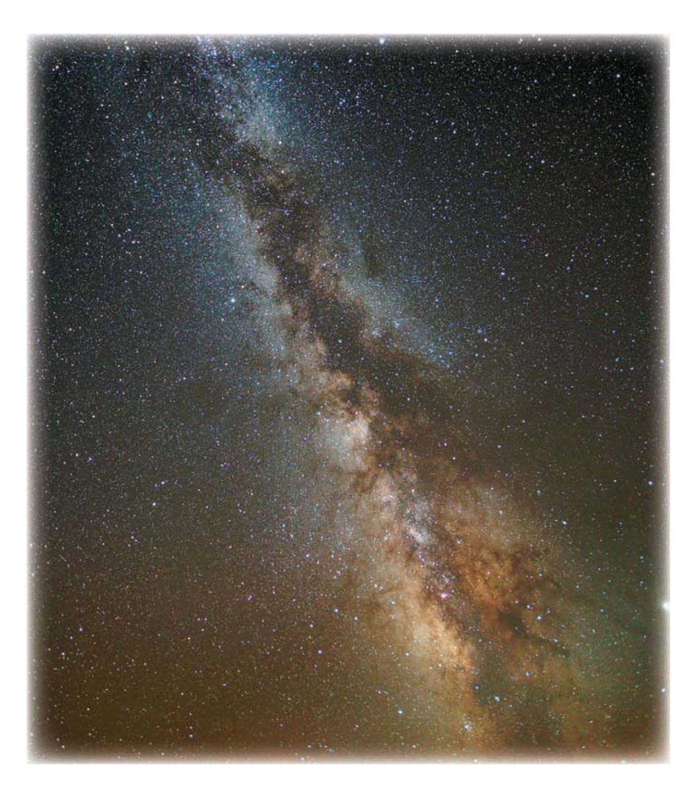
С древних времен люди обращали внимание на слабое туманное свечение, которое заметно в темные безлунные ночи. Оно простирается по небу в виде неровной полосы, похожей на гигантский пояс. Этот пояс делит небесную сферу на две почти равные половины — северную и южную. Природу Млечного Пути раскрыл астроном Галилео Галилей, направив на него свой первый телескоп и обнаружив, что свет Млечного Пути создается бесчисленным количеством очень слабых звезд.

Происхождение и рисунок полосы Млечного Пути объясняются строением нашей звездной системы, которая сжата вдоль оси вращения и имеет форму диска с утолщением в центральной части. Орбита Солнца проходит вблизи плоскости этого диска, поэтому, глядя вдоль плоскости диска, мы видим свет множества далеких звезд, сливающийся в сплошную полосу Млечного Пути. К тому же в плоскости Галактики сосредоточен межзвездный газ и образующиеся из него молодые звезды. Наиболее яркие облака межзвездного газа — светлые туманности — разбросаны по всей полосе Млечного Пути и усиливают его яркость. Диаметр нашей Галактики — немногим более 100 тыс. св. лет.

## Где и как он виден?

В целом яркость Млечного Пути невелика. Многие жители современных городов, возможно, даже никогда его и не видели, поскольку городские огни делают ночное небо слишком светлым. Млечный Путь хорошо наблюдать вдали от городских улиц — в степи, в горах, на берегу моря.

Круг Млечного Пути (галактический экватор) наклонен к небесному экватору под большим углом (около 63°), поэтому суточное и годовое вращение небесной сферы значительно изменяет положение Млечного



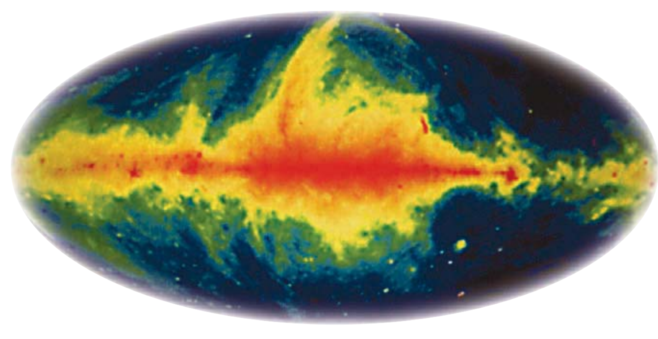
Таким для наблюдателя с Земли выглядит Млечный Путь на фоне звездного неба



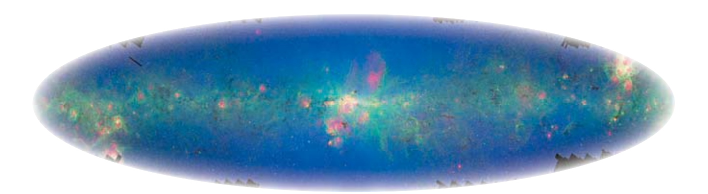
**Не все светлые области, казалось бы принадлежащие Млечному Пути, связаны с нашей Галактикой. Например, наблюдателям Южного полушария знакомы два светлых облачка в созвездиях Тукан и Столовая Гора, лежащих неподалеку от Млечного Пути. На самом деле это две самостоятельные галактики — Большое и Малое Магеллановы Облака. Хотя они находятся недалеко от диска нашей Галактики и, по-видимому, являются ее спутниками, их реальные размеры значительно превосходят размеры наблюдаемых деталей Млечного Пути.**

Пути относительно горизонта. Он наиболее заметен в созвездиях Стрелец, Южный Крест и Центавр (т. е. в основном — в Южном полушарии), а слабее всего виден в созвездиях Персей, Жираф и Возничий (в стороне, противоположной направлению на центр Галактики).

На фоне Млечного Пути можно заметить темные облака и прожилки. В «шее» Лебедя Млечный Путь распадается на две отчетливые ветви, разделенные темным промежутком. Соединяются ветви на юге, в созвездии Центавр. Темный промежуток между этими ветвями объясняется концентрацией газопылевой материи (непрозрачные межзвездные облака, проецируясь на Млечный Путь, создают впечатление его раздвоенности). В самой середине этого темного промежутка, в созвездии Стрелец, находится ядро нашей Галактики. Хотя оно скрыто от нас пылью, его можно наблюдать по инфракрасному излучению и радиоизлучению.



Наша Галактика в радиодиапазоне, особенно ярко светится центральная область



Инфракрасное изображение Млечного Пути, полученное телескопом Спитцера

## Портреты Галактики

Наша Галактика состоит из объектов разной природы — звезд, межзвездного газа и пыли, космических лучей и т. д. Каждый из этих объектов, по существу, представляет целую группу разнородных источников излучения. Например, массивные горячие звезды и молодые белые карлики в основном излучают ультрафиолетовый свет, а звезды малой массы и состарившиеся светила (красные гиганты) излучают энергию в красном оптическом диапазоне. Неоднородно по своим свойствам межзвездное вещество. Газ, выброшенный в процессе взрыва сверхновой звезды, нагрет до десятков миллионов кельвинов и светится в рентгеновском диапазоне спектра. Газ, окружающий нормальную горячую звезду, излучает свет. Но такой же газ, находящийся вдали от горячих звезд, имеет температуру всего несколько кельвинов и поэтому излучает только радиоволны. В результате картина Млечного Пути сильно зависит от того, каким телескопом — оптическим, радио-, инфракрасным или рентгеновским — пользоваться.

# Как устроена наша Галактика?

*Чтобы лучше понять, что представляет собой наша Галактика, нужно прежде всего узнать ее размер и массу, а для этого требуется точно определить расстояние от Солнца до галактического центра, где располагается ядро Галактики. Галактика — это довольно сложная система, основная масса которой приходится на звезды различных возрастов и разреженный межзвездный газ. Между ними происходит интенсивное взаимодействие, которое определяет характер эволюции Галактики.*



Галактика NGG 2997 похожа на Млечный Путь

## Поиск центра Галактики

Солнце движется почти точно в плоскости Млечного Пути, как раз там, где сосредоточены огромные облака газа и пыли, совершенно непрозрачные для света звезд. Мы лишены возможности наблюдать в оптические телескопы всю Галактику. Фактически хорошо изученной областью до сих пор остается лишь окрестность Солнца радиусом 4—6 тыс. св. лет, а дальше известны только ярчайшие объекты, а также источники радио- и рентгеновского излучения (для которых пыль и газ не помеха).

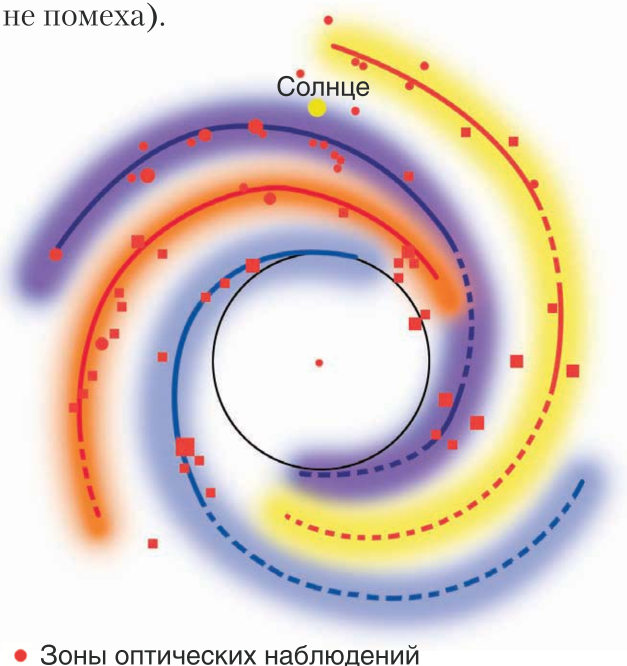



Схема Млечного Пути и место Солнечной системы. Цветом показаны рукава Галактики

Не имея возможности «пробиться» к ядру Галактики с помощью оптического телескопа, астрономы изобрели немало обходных путей. От того места в Галактике, где мы находимся, видны многочисленные шаровые звездные скопления, разбросанные в протяженном гало Галактики (т. е. во внешних ее областях) и заметно концентрирующиеся вокруг ее центра. Это обстоятельство позволило американскому астроному Харлоу Шепли (1885—1972) в 1918 г. впервые определить направление на невидимое ядро Галактики, а спустя несколько лет грубо оценить и расстояние до него. Шепли верно утверждал, что центр Галактики лежит в направлении созвездия Стрелец.

Много лет спустя радиотелескопы зафиксировали в этом же направлении мощный источник Стрелец А, совпадающий, как теперь стало ясно, с ядром Галактики, а инфракрасные телескопы обнаружили в созвездии Стрелец мощную концентрацию звезд, окружающих ядро Галактики.

Если бы все шаровые звездные скопления уже были открыты, то центр Галактики нашли бы как геометрический центр системы шаровых скоплений. Сложность состоит в том, что кроме уже известных более чем 150 шаровых скоплений, возможно, еще несколько десятков таких звездных систем скрываются «где-то в пыли», а без них вся система выглядит перекошенной и не может служить надежным ориентиром.

## Расстояние до центра

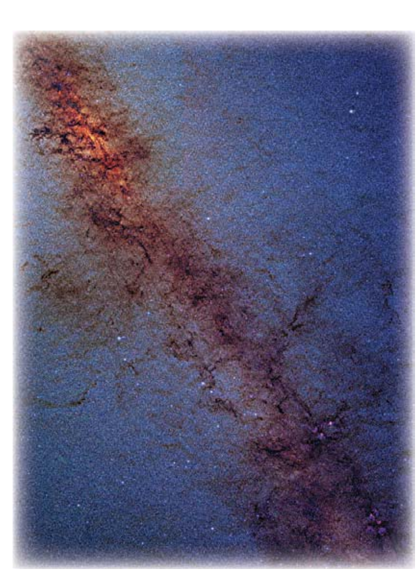
Расстояние от Солнца до центра Галактики астрономы пытаются определить уже два столетия. Разными способами ученые стремятся преодолеть значительную удаленность галактического ядра (центральной области Галактики). В принципе эта задача решается путем сравнения яркости звезд одного и того же типа, наблюдаемых в ядре Галактики и вблизи Солнца. Около Солнца расстояния до звезд достаточно точно измерены. Однако проблема состоит в том, что яркость далеких звезд ослабляется не только расстоянием, но и вследствие поглощения света межзвездной пылью, учесть которое очень сложно.

Некоторые астрономы предлагают условно принять Галактику (а точнее, орбиты сравнительно близких к Солнцу звезд) за «колесо», по окружности обода которого можно определить расстояние до центра, даже не видя его. В принципе точно так же по расположению и скоростям движения, измеренным для многих звезд вблизи Солнца, мы могли бы определить кривизну их орбит («галактического колеса»), а значит, и расстояние до центра вращения. Однако кто может поручиться, что «галактическое колесо» идеально круглое?

Сегодня расстояние до центра Галактики считают близким к 25 тыс. св. лет. Правда, единого мнения у астрономов нет. Наше Солнце находится примерно на расстоянии $^2/_3$ от центра диска до его края. Солнце обращается вокруг центра Галактики по почти круговой орбите, не отходящей далеко от центральной плоскости диска.



Центр и края галактического диска различны по количеству звезд и туманностей



Так выглядит галактический центр Млечного Пути, наблюдаемый в инфракрасном спектре

## Границы познания

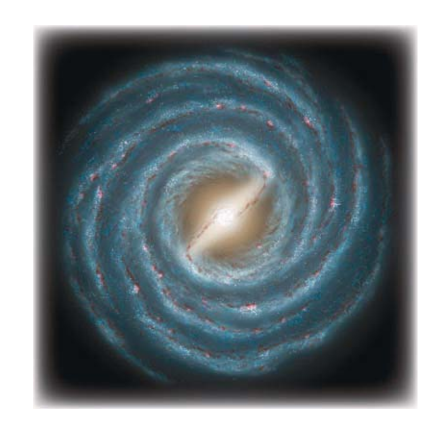
Галактика — непрерывно меняющаяся, эволюционирующая система, в которой рождаются звезды, образуются и гибнут туманности, изменяется состав вещества, сталкиваются облака, бьют фонтаны горячего газа, дуют звездные ветры (газовые потоки от звезд), рождая ударные волны в межзвездной среде. Одним словом, происходит нормальная космическая жизнь, и почти во всех ее проявлениях мы встречаем двух главных участников — звезды и межзвездное вещество.

Находясь внутри Галактики и наблюдая ее в различных направлениях, астрономы смогли «реконструировать» ее общую структуру. Однако большие трудности, с которыми связано определение расстояний до далеких объектов Галактики, и прежде всего до ее центра, а также скудная информация о самых внешних ее областях приводят к тому, что такие «глобальные» характеристики, как размер, масса и светимость Галактики, известны лишь очень приблизительно.

## Структура Галактики

Наша Галактика — спиральная звездная система морфологического типа Sbc, т. е. промежуточного между морфологическими типами Sb и Sc (*см.* Какие бывают галактики). Глядя на другие галактики такого же типа, можно представить себе внешний вид нашей системы. Диаметр звездного диска Галактики более 80 тыс. св. лет, в пределах этой области в нем сосредоточено чуть более половины массы Галактики. В основном это звезды, лишь около 10 % массы диска приходится на межзвездное вещество — газ и пыль. Точно измерить толщину диска Галактики трудно. Звезды разного типа и межзвездный газ распределены в нем по-разному: холодное межзвездное вещество и недавно образовавшиеся звезды сосредоточены в центральном слое толщиной почти 500 св. лет, а более старые звезды и горячий газ заполняют диск на толщину около 2 тыс. св. лет.

Любопытно, что за пределами орбиты Солнца внешняя часть газового слоя Галактики становится к периферии все более толстой и кривой — ее края «задраны» в противоположные стороны, как поля у фетровой шляпы. Причина этого искривления пока не ясна, но такое искажение формы газового диска не исключение: оно наблюдается и во многих других галактиках и, по-видимому, связано со взаимодействием с галактиками-спутниками.

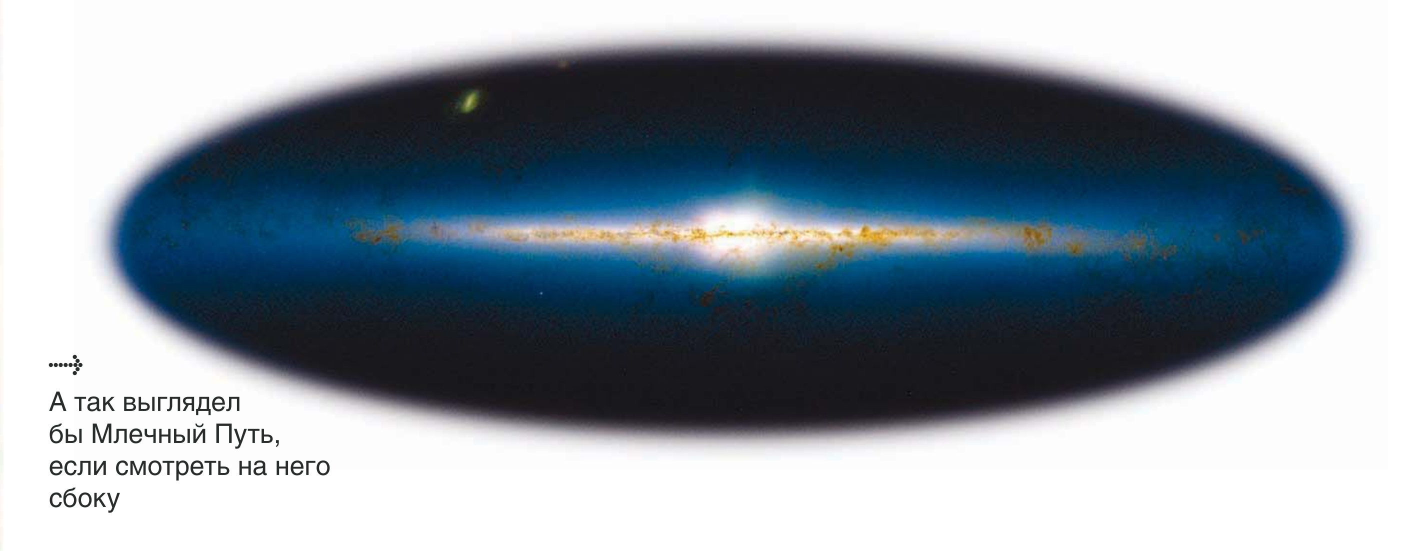


Мы не можем увидеть нашу Галактику со стороны, это внешне схожая звездная система

## Балдж, гало и корона

Кроме плоского компонента — диска наша Галактика имеет и сферический компонент, условно разделенный на несколько составляющих — балдж (центральная конденсация), гало и корону. Балдж Галактики по плотности звезд сравним с диском. На фотографиях других спиральных галактик их балджи заметны как «центральное вздутие» диска. Здесь находятся звезды в основном среднего и старшего возраста. Плотность расположения звезд в балдже постепенно падает с удалением от центра.

Изучая движение звезд в окрестности Солнца, астрономы уже давно заметили, что в спокойном потоке звезд вращающегося диска попадаются «суетливые» светила, несущиеся сквозь диск по всем направлениям. Они заполняют весь сферический объем Галактики. Эту область Галактики называют гало. Ее населяют старые звезды возрас-



А так выглядел бы Млечный Путь, если смотреть на него сбоку

**В прошлом, вероятно, были эпизоды, когда наша Галактика поглощала огромные порции межзвездного вещества вместе с «проглоченными» ею небольшими звездными системами. Не исключено, что такое еще будет происходить. Если ученые верно представляют себе движение соседних неправильных галактик Большое и Малое Магеллановы Облака, то через несколько миллиардов лет они будут проглочены нашей звездной системой и удвоят массу ее межзвездной среды.**

том около 10 млрд. лет, поэтому среди них нет массивных светил. Гало почти лишено холодного газа, служащего источником возникновения звезд. Часть звезд гало (не только в нашей, но и в других крупных галактиках) объединена в шаровые скопления. В нашей Галактике около 180 таких скоплений, в каждом из них от 10 тыс. до 1 млн. звезд. Яркие шаровые скопления помогают проследить границы гало: на расстоянии около 80 тыс. св. лет от центра плотность гало практически сходит на нет.

Корона Галактики — самая загадочная ее часть. Про «население» короны, протянувшейся на сотни тысяч световых лет, почти ничего не известно. На основании каких фактов ученые сделали заключение о ее существовании? Этот вывод следует из наблюдений за движением далеких спутников Галактики — нескольких шаровых скоплений и карликовых галактик, «обитающих» в области от 100 до 500 тыс. св. лет от ее центра. Хотя в этой области не удается заметить ни звезд, ни газа, высокие скорости движения спутников Галактики явно указывают на присутствие там массы, причем в огромном количестве — в несколько раз большем, чем во внутреннем, светящемся теле Галактики.

## Звезды и газ

Масса межзвездного газа, сосредоточенного в диске Галактики в форме более плотных облаков и менее плотной межоблачной среды, составляет около 6 млрд. M⊙ (масс Солнца). Если сравнить это с массой Галактики в пределах радиуса ее диска, то получится не так уж много — всего 2 %. Однако это очень важные проценты. К примеру, вес бензина в баке автомобиля тоже составляет около 2 % от полного веса экипажа. Но уберите эти два процента, и чем станет автомобиль, как не мертвой грудой металла?

Как взаимодействуют между собой звезды и газ? Каждая звезда притягивает к себе межзвездное вещество силой гравитации и отталкивает его давлением своего излучения и потоками звездного ветра. В этом противоборстве исход не всегда очевиден. Например, сравнительно слабый солнечный ветер, несущий в себе магнитное поле, не впускает горячее ионизованное межзвездное вещество в пределы нашей планетной системы, образуя вокруг Солнца огромную гелиосферу — своеобразный «пузырь», заполненный солнечным ветром. Однако холодные нейтральные атомы, не взаимодействующие с магнитным полем, без труда влетают в глубь Солнечной системы из межзвездного пространства.



Шаровое звездное скопление M 15 в созвездии Пегас — одно из самых плотных в Галактике, в нем более 100 тыс. звезд

# Соседи нашей Галактики

*Ближайшие к нам галактики представляют для ученых особый интерес, поскольку могут быть исследованы более детально, в некоторых аспектах даже лучше, чем наша собственная Галактика, которую мы вынуждены наблюдать изнутри. Разумеется, само понятие «ближайшие» весьма условно, и его толкование зависит от уровня развития астрономической техники. В наше время ближайшие звездные системы — это те, которые заметно влияют на нашу Галактику и сами испытывают ее влияние.*



Галактика М 33 в созвездии Треугольник

## Местная группа

К ближайшим галактикам в первую очередь относят те соседние звездные системы, которые вместе с нашей Галактикой образуют небольшое скопление, так называемую Местную группу галактик. Сюда входит около 35 галактик различного строения и массы. Доминируют в ней две спиральные системы — Туманность Андромеды и Млечный Путь, расстояние между которыми около 2,5 млн. св. лет. Среди прочих членов Местной группы своей массой и светимостью выделяются небольшая спираль М 33 и наш сосед — неправильная галактика Большое Магелланово Облако (БМО). Все остальные галактики заметно мельче. Многие маленькие галактики тяготеют к большим. Например, нашу Галактику сопровождают довольно крупные Магеллановы Облака и несколько небольших систем — Печь, Дракон, Скульптор, Секстант, Киль и др. (Многие галактики носят имена тех созвездий, в которых они наблюдаются.) Такие «коллективы» размером около 1 млн. св. лет принято называть гипергалактиками.

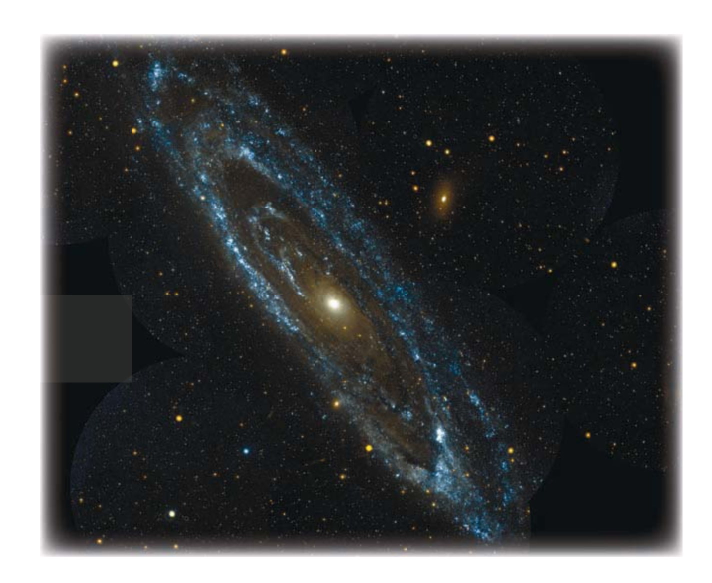


Большое Магелланово Облако — крупнейший из спутников нашей Галактики



Неправильная галактика Секстант А удалена от нас на 10 млн. св. лет

«Население» Местной группы не отличается разнообразием: в основном это спиральные, неправильные и карликовые галактики. Здесь отсутствуют крупные эллиптические галактики, которые можно найти в более богатых скоплениях. Единственная настоящая эллиптическая галактика — М 32.



Фотография галактики М 31 Туманность Андромеды в ультрафиолетовых лучах

## Магеллановы Облака

Магеллановы Облака очень богаты газом и молодыми звездами. В БМО наблюдаются крупные области звездообразования, множество молодых звездных скоплений, а также многочисленные следы взрывов сверхновых звезд. Возможно, это следствие сближения БМО с Малым Магеллановым Облаком (ММО) или Галактикой. Судьба Магеллановых Облаков представляется довольно ясно: после того как они совершат еще несколько оборотов вокруг центра нашей Галактики и еще больше приблизятся к нему, они будут разорваны приливными силами и «размазаны» вдоль орбиты. Их звезды войдут в состав Галактики, но еще долго будут двигаться широким потоком, напоминающим об их генетической связи.

## Туманность Андромеды

Это ближайшая к нам спиральная галактика. Диск Туманности Андромеды повернут к Земле почти ребром: луч нашего зрения составляет с плоскостью ее диска угол всего около 15°. Поэтому изучать ее структуру довольно трудно. Туманность окружена большой «свитой». Вместе со своими спутниками и спиралью М 33 она образует подгруппу звездных островов, раскинувшуюся в направлении созвездия Андромеда и прилегающих к нему созвездий Кассиопея, Треугольник и Рыба. Эту область американский астроном Харлоу Шепли называл Архипелагом Андромеды.

Подобно тому как Магеллановы Облака тесно соседствуют с нашей Галактикой, крупнейшие спутники Туманности Андромеды расположены очень близко к ней. Это сфероидальные галактики, почти не содержащие межзвездного вещества. Среди них выделяется эллиптическая галактика М 32, компактная и очень плотная, с довольно массивным ядром. Она обращается в опасной близости от Туманности Андромеды и подвержена ее сильному гравитационному влиянию, которое через несколько миллиардов лет приведет к окончательному разрушению М 32. Немного дальше от спирального «хозяина» движется вытянутый сфероид NGC 205, который также испытывает влияние приливных сил массивной Туманности Андромеды. Менее массивны два более далеких спутника туманности — NGC 147 и NGC 185. По-видимому, они образуют двойную систему.



**Одиночные галактики, как и одиночные звезды, встречаются исключительно редко. Почти все звездные системы объединены в группы различного масштаба. В группе галактик одна из них выделяется своим размером и массой — ее называют родительской. Слово «родительский» здесь не имеет прямого смысла: галактики не размножаются «почкованием». Вообще генетическая связь между большими и маленькими галактиками еще не ясна.**

# Какие бывают галактики?

*Окружающая нас Вселенная вплоть до самых больших расстояний, доступных современным телескопам, заполнена галактиками — гигантскими и карликовыми, сравнительно близкими и очень далекими. С помощью новейших технических средств можно наблюдать свыше миллиарда галактик. Не одно столетие понадобилось для того, чтобы приблизиться к разгадке тайны рождения этих «звездных островов». Почему природа сделала их такими разными? Этот вопрос до сих пор занимает ученых.*



Спиральная галактика с перемычкой NGC 1365

## Классификация Хаббла

Первую классификацию галактик по их внешнему виду предложил в 1925 г. Эдвин Хаббл. Позже ее уточняли и сам Хаббл, и другие астрономы, но свои основные черты эта классификация сохранила до наших дней. Все галактики Хаббл разделил на четыре типа: эллиптические, линзовидные, спиральные и неправильные.

Эллиптические галактики (обозначаются латинской буквой E) имеют форму эллипсов, их яркость возрастает к центру. В основном они состоят из старых звезд (желтого и красноватого цветов), которые по возрасту старше Солнца. Облаков межзвездного газа в них очень мало, поэтому, как правило, нет и молодых звезд, выделяющихся ярким голубым сиянием в галактиках других типов.

Линзовидные галактики (обозначаются L или S0) похожи на эллиптические, но кроме сфероидального компонента имеют тонкий быстровращающийся звездный диск, пронизывающий сфероид и разделяющий его на два полушария.

Спиральные галактики (обозначаются S или SB) также состоят из двух основных звездных компонентов — сфероидального и плоского (диска), но с явно выраженной спиральной структурой в диске. Основных спиральных рукавов обычно бывает два, но может быть и больше, иногда узор настолько запутан, что их трудно сосчитать. Если спирали отходят от центральной части диска, имеющей симметричную форму, то такую галактику называют нормальной спиралью и обозначают буквой S; если же рукава начинаются от толстой вытянутой звездной перемычки (бара) во внутренней области диска, то это спираль с перемычкой, которая обозначается SB. В зависимости от формы спиральных ветвей выделяют несколько подтипов: Sa, Sb, Sc и Sd (соответственно SBa, SBb, SBc и SBd).

Неправильные галактики (Ir) характеризуются несимметричным внешним видом. Обычно их размер и масса невелики. Иногда у них заметны клочковатые и короткие спиральные рукава. Такие системы относят к неправильным галактикам магелланового типа (похож на Магеллановы Облака). Неправильные галактики другого типа (I0) имеют темные пылевые полосы поверх сфероидальной или дисковой структуры. Эти галактики, как правило, взаимодействующие.



Гигантская эллиптическая галактика ESO 325-G004 содержит 100 млрд. звезд



**Исследования показали, что галактика — это не просто большое скопление разных звезд и газа, а довольно сложная система, в которой различные районы «населены» преимущественно «своими» типами звезд и газопылевых облаков, отличающимися по внешнему виду. Мир галактик поражает своим разнообразием. В результате труда нескольких поколений ученых «звездные острова» галактик стали ближе и понятнее. Но наука о галактиках еще очень молода, впереди много работы и удивительных открытий.**

## Неучтенные параметры

Чем детальнее астрономы изучают мир галактик, тем яснее становится недостаточность классификации Хаббла, которая не учитывает ряда деталей (например, таких, как центрально-симметричные кольца на дисках галактик или искажения, связанные со взаимодействием с соседними звездными системами) и совсем не принимает во внимание физические параметры галактик — размер, массу, скорость вращения и т. п. Разумеется, в науке возникли и другие схемы классификации галактик, однако до сих пор не разработана объективная классификация, учитывающая максимальное число параметров.

К важнейшим физическим параметрам относятся скорость вращения диска (если он имеется), его масса и размер, а также размер и масса всей галактики. Скорости вращения галактических дисков в большинстве случаев лежат в пределах от 50 до 300 км/с, т. е. у самых маленьких и самых больших галактик они отличаются всего в несколько раз. Иное дело, массы и размеры. По массам, например, галактики-карлики отличаются от самых массивных галактик в сотни тысяч раз!

Чтобы оценить размер и массу галактики, необходимо как можно точнее определить расстояние до нее, а затем измерить угловой размер галактики. Выделить внешнюю границу галактики можно лишь условно — до определенного значения яркости. Здесь многое зависит от возможностей используемой техники. Современная аппаратура позволяет регистрировать внешние области галактик с яркостью менее 1 % от яркости неба; это в тысячи раз ниже яркости ядер галактик. По этой границе диаметры известных нам галактик составляют от нескольких тысяч световых лет у неправильных карликовых систем до сотен тысяч световых лет у гигантских спиральных и эллиптических галактик.



Линзовидная галактика Веретено в созвездии Дракон



Взаимодействие близких эллиптической и неправильной галактик

# Взаимодействующие галактики

*Многие галактики объединены в группы — пары, триплеты и т. д., вплоть до огромных скоплений. При этом движение каждой галактики как целого происходит под действием притяжения всех остальных членов группы. Известны случаи, когда близкие галактики соседствуют настолько тесно, что влияют на форму друг друга, на внутреннюю структуру и взаимное движение звезд, могут сталкиваться, обмениваться веществом и даже сливаться. Такие галактики называют взаимодействующими.*



Группа близких галактик в созвездии Пегас

## Следы взаимодействия

Около 7 % всех крупных галактик можно отнести к взаимодействующим. Это довольно много, если учесть, что тесное взаимодействие за сравнительно короткий период должно приводить либо к разрушению, либо к слиянию галактик.

Оказалось, что, чем сильнее взаимодействие галактик друг с другом, тем чаще рождаются в них звезды. Наиболее отчетливо это проявляется у самых тесно взаимодействующих, практически сливающихся систем. Примерами тому служат система «Усы» и многие далекие галактики с мощным инфракрасным излучением. В таких системах, испытывающих не просто гравитационное, а прямое физическое столкновение, межзвездное вещество из одной галактики проникает в другую, газовые облака с большими скоростями сталкиваются, сжимаются и быстрее превращаются в звезды.



↑ Взаимодействие искажает вид двух спиральных галактик в созвездии Большой Пес

Впрочем, иногда сильно влияют друг на друга даже галактики, разделенные на небе немалым расстоянием и на первый взгляд не вступающие в тесное взаимодействие. Например, спиральная галактика М 81 в созвездии Большая Медведица и неправильная галактика М 82 с очень интенсивным звездообразованием в центральной области разделены в пространстве расстоянием не менее 150 тыс. св. лет, но их связывает невидимый в оптическом диапазоне «мост» из межзвездного газа, который обнаружили с помощью радиотелескопов. Нередко на концах длинных «хвостов» взаимодействующих галактик наблюдаются яркие вздутия, похожие на молодые карликовые галактики с интенсивным звездообразованием, т. е. возможно своеобразное «почкование» галактик.

## Галактический каннибализм

Среди взаимодействующих галактик немало примеров тесного соседства карликов с гигантами. Например, маленькая эллиптическая галактика М 32 находится всего в 15 тыс. св. лет (световых лет) от центра Туманности Андромеды. «Малютка» М 32 уже потеряла свои наружные части; от нее осталась только плотная сердцевина. Однако и сама М 32 заметно влияет на своего гигантского партнера: обращаясь в опасной близости от Туманности Андромеды, она своим притяжением «взбудоражила» диск этой галактики и нарушила четкий рисунок ее спи-

**У некоторых взаимодействующих галактик наблюдаются удивительные детали. Например, в системе VV 34 тонкая перемычка между галактиками имеет длину в проекции около 200 тыс. св. лет при толщине всего несколько тысяч световых лет. Тонкие нити обычно встречаются в мире твердых тел или очень вязких жидких струй, их никак нельзя было ожидать в мире звездных систем. Однако были обнаружены галактики с изящными спиральными рукавами, с длинными и тонкими «усами» и «мостами». Только ли сила гравитации играет роль в их формировании? Пока однозначного ответа нет.**



ральных рукавов. Примерно через 3 млрд. лет М 32 окончательно растворится в Туманности Андромеды. Такой процесс астрономы называют «галактическим каннибализмом». В мире галактик, как и в животном мире, большие поедают маленьких. Еще один подобный пример астрономы обнаружили на краю нашей Галактики. Наша звездная система почти поглотила карликовую сфероидальную галактику в созвездии Стрелец.

В галактике М 82 видны следы мощного взрыва, который был 1,5 млн. лет назад

## Каталог галактик

Взаимодействующие галактики не сразу привлекли к себе внимание астрономов. Галактики, не вошедшие в классификацию Хаббла, называли пекулярными (т. е. необычными) и считали их очень редкими, «бракованными изделиями природы». Российский астроном Б. А. Воронцов-Вельяминов (1904—1994) первым начал исследовать системы галактик, названных им взаимодействующими. Ученый определил их как «системы, где видны или подозреваются две или более галактики с искажениями формы, с хвостами, перемычками, в общем тумане, с перекосом пылевого слоя, слившиеся или расположенные в виде цепочки». По мнению ученого, взаимодействующие галактики порой образуют настоящие «гнезда», в которых трудно разделить части отдельных систем.

В 1959 г. Воронцов-Вельяминов издал первый «Атлас и каталог взаимодействующих галактик», в котором описал 356 систем. Эта работа привлекла внимание многих астрономов. В 1977 г. вышла вторая часть «Атласа и каталога взаимодействующих галактик», где было исследовано еще около 500 объектов, а в 2000 г. ученики и коллеги Б. А. Воронцова-Вельяминова завершили работу над новым каталогом, где описано более 2 тыс. взаимодействующих систем.



# Галактики-карлики

*Чем меньше масса галактик, тем чаще они встречаются в природе, но тем труднее их наблюдать: они не видны с больших расстояний. Основное количество существующих галактик — это разнообразные карликовые системы, которые в десятки и сотни раз меньше нашей Галактики по массе и числу звезд. Многие звезды кажутся нам близнецами, но трудно отыскать две почти одинаковые галактики. И вот что любопытно: чем мельче звездные системы, тем разнообразнее их внешний вид.*



Галактика М 101 в созвездии Большая Медведица

## Вне классификации

Классификация объектов по их внешности называется морфологической. Для крупных галактик астрономы давно разработали схемы морфологической классификации — от простейших (деление на дисковые и эллиптические) до весьма детальных, учитывающих относительную яркость и степень сплюснутости сфероида, характер спирального узора в диске, наличие или отсутствие центральной перемычки (спираль с баром), присутствие яркого ядра и окружающих его колец. Легко заметить, что все эти структуры довольно симметричны, поэтому их сравнительно просто классифицировать. Однако даже в самых разработанных и детальных схемах морфологической классификации галактик оставлено место для объектов, имеющих оригинальный, неповторимый вид (пекулярные галактики). Именно среди них выявляют карликовые галактики.

В скоплении Кома собрались несколько тысяч карликовых галактик

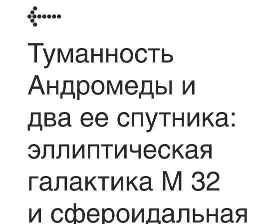


## Какими они бывают?

Нормальной в астрономии называют галактику, содержащую сотни миллиардов звезд, а карликовые обычно состоят из сотен миллионов или нескольких миллиардов звезд. Самые маленькие из карликовых систем приближаются по массе к наиболее крупным шаровым звездным скоплениям, правда заметно превосходя их по размерам. Именно поэтому заметить карликовую галактику нелегко: она почти не выделяется на фоне неба, усеянного близкими и далекими звездами нашей Галактики.

**Внешний вид карликовых галактик может не отражать их истинной формы. Иногда единую галактику трудно отличить от тесной пары или группы. Дело в том, что звезды в галактиках обычно рождаются большими группами, и этот процесс охватывает область размером в несколько сот парсеков. Когда подобное происходит в крупной галактике, то это почти не искажает ее внешнего вида. Однако появление очага звездообразования в маленькой галактике совершенно меняет ее внешний вид, яркость и цвет. Через какое-то время очаг «затухнет» и карликовая галактика внешне станет совершенно другой.**





Туманность Андромеды и два ее спутника: эллиптическая галактика М 32 и сфероидальная система М 110

Карликовая эллиптическая галактика М 110



Первые галактики-карлики были открыты случайно, при фотографировании неба, причем они оказались совсем рядом. Это были спутники Млечного Пути — карликовые сфероидальные системы в созвездиях Дракона, Печи, Льва и Большой Медведицы. При наблюдении в крупные телескопы они похожи на разреженные скопления очень слабых звезд, отличающиеся от обычных звездных скоплений большими размерами.

Сфероидальные карлики, подобно крупным эллиптическим галактикам, практически лишены межзвездного вещества и состоят только из звезд, однако отличаются очень низкой поверхностной яркостью. В них также почти никогда не бывает центральных ядер. Среди карликов есть и аналоги спиральных и неправильных галактик, богатых межзвездным газом. Это так называемые карликовые неправильные галактики. Некоторые карлики целиком охвачены интенсивным звездообразованием, горячие звезды увеличивают их яркость и обусловливают голубой цвет. Эти системы так и называются — голубые компактные галактики. Многие карликовые галактики с интенсивным звездообразованием выглядят так, как должны выглядеть молодые галактики.

Более стабильными характеристиками карликовых галактик являются масса, размер, скорость вращения, доля газа по отношению к звездам, наличие скрытой массы, доля которой может быть очень велика.

## От большого к малому или наоборот?

Довольно долго астрономы относились к карликовым галактикам, как к чему-то второстепенному, считая их «отходами производства» более крупных звездных систем. Среди ученых была популярна гипотеза о том, что крупные галактики рождались из огромных газовых облаков, которые постепенно сжимались и делились на составные части. То есть эволюция галактик представлялась как постепенный переход от большого к малому. Последние данные наблюдений стали серьезными аргументами в пользу другой гипотезы, рассматривающей образование галактик как процесс слияния более мелких систем. Возможно, гигантские галактики образовались в ходе объединения меньших по массе галактик — «строительных блоков» из звезд, газа и пыли.



Карликовая галактика NGC 4449 — область активного звездообразования

# Загадка скрытой массы галактик

*Окружающая нас Вселенная — это в основном звезды и разреженный газ, собранные в галактики и системы галактик. Однако астрономы выяснили удивительную вещь: наблюдаемое вещество, по-видимому, составляет лишь небольшую долю всей материи Вселенной. Остальное вещество заключено в ее так называемой скрытой (невидимой или темной) массе. Много ли ненаблюдаемого вещества и что оно собой представляет? Эти вопросы волнуют астрономов уже несколько десятилетий.*



Спиральная галактика в созвездии Павлин

## Что доступно взору?

Галактики подобны огромным космическим городам с пестрым населением. Некоторых «жителей» ближайших галактик астрономы обнаруживают легко: молодые массивные звезды светят ярко и могут наблюдаться с расстояний во многие миллионы световых лет.

Легкоразличимы и газовые облака, если рядом с ними расположены горячие звезды, которые, нагревая их, заставляют светиться под действием ультрафиолетового излучения. Если же облако удалено от ярких звезд, заметить его в оптический телескоп обычно невозможно, но зато ему не спрятаться от радиотелескопа, настроенного на длину волны излучения водорода или различных молекул.

Маленькие тусклые звезды — красные карлики — запросто скрываются от любого телескопа уже на расстоянии в несколько тысяч световых лет от Солнца, а самые мелкие среди них — коричневые карлики — не видны даже на расстоянии в десятки световых лет. Что уж говорить о планетах, которые в диапазоне видимого излучения не светят сами и видны только в том случае, если освещены близкорасположенной звездой!

Иными словами, во Вселенной существует множество звезд и планет, которых мы совершенно не видим.

## Проявления скрытой массы

Как бы ни пыталась скрыться от астрономов невидимая масса, свое гравитационное поле ей спрятать не удастся никогда. Гравитация — это неотъемлемое свойство любой материи независимо от ее природы. Следовательно, присутствие скрытых масс можно заметить, наблюдая за движением видимых тел. Таким путем и пошли астрономы. В результате множества наблюдений они определили зависимость скорости вращения звезд и облаков газа от расстояния до центров дисковых галактик.



Спиральная галактика М 66 в созвездии Лев имеет размер 100 тыс. св. лет

**Известно, что линзы, искривляя ход лучей, могут создавать увеличенные или уменьшенные изображения предметов. Массивные космические тела (звезды, планеты, галактики) тоже могут играть роль линз. Эффект гравитационной линзы был предсказан А. Эйнштейном, который в 1915 г. в рамках теории относительности впервые правильно вычислил угол отклонения луча света в гравитационном поле. Искривление лучей в гравитационном поле приводит к искажениям изображений объектов, расположенных за подобной небесной «линзой».**



Эти графики (их называют кривыми вращения галактик) показали удивительную особенность. А именно: в большинстве случаев скорость вращения с удалением от центра остается почти постоянной. В то время как массы галактик (если их рассчитывать, учитывая лишь «светящееся» вещество — звезды и облака межзвездного газа) оказались явно недостаточными для того, чтобы поддержать скорости на должном уровне. Причем нехватка вещества была весьма впечатляющей. Например, в нашей Галактике в пределах солнечной орбиты (ее радиус 22—25 тыс. св. лет) почти треть массы — скрытая.

Еще дальше от центра Галактики скрытая масса начинает доминировать: на периферии Галактики звезд и газа почти не видно, а источник тяготения присутствует,



Галактика М 104 в инфракрасном диапазоне (на с. 186 она же в видимом диапазоне)

да еще какой! Масса Галактики в радиусе 150 тыс. св. лет в несколько раз больше, чем масса внутренней, видимой ее части радиусом около 50 тыс. св. лет. В других галактиках наблюдается похожая зависимость: чем дальше от центра, тем больше роль скрытой массы. Получается, что каждая галактика погружена в «темное облако», масса которого превышает массу галактики и которое, кроме гравитации, никак себя не проявляет.

## Догадки и загадки

Из чего состоят эти «облака» — один из самых волнующих вопросов в астрономии, на который до сих пор нет общепринятого ответа. Предлагаются различные гипотезы: темная материя — это огромное количество тусклых звезд, коричневых карликов; темная материя — это слабовзаимодействующие с обычной материей элементарные частицы (например, нейтрино). Выдвинута даже гипотеза о том, что все дело не столько в невидимом веществе, сколько в несовершенстве нашего понимания природы гравитации: вот выведут «правильные» законы гравитационного взаимодействия — и загадочная темная материя «испарится» сама собой.

Загадка скрытой массы представляет интерес отнюдь не сама по себе. Ведь от количества (точнее, средней плотности) скрытой массы зависит характер эволюции Вселенной — например, продолжит ли она расширяться в будущем или же придет время, когда расширение сменится сжатием.

# Ядра галактик и квазары

*Ядра — это самые плотные центральные части галактик. Нередко ядра обладают удивительными особенностями, отличающими их от остальной галактики. Они могут иметь свою структуру, собственную скорость вращения. Одно из самых значительных открытий астрономии XX в. — обнаружение в ядрах многих галактик источников энергии невероятной мощности. Их природа до конца не выяснена. Здесь астрономы встретились с неизвестными процессами, познать которые еще предстоит.*

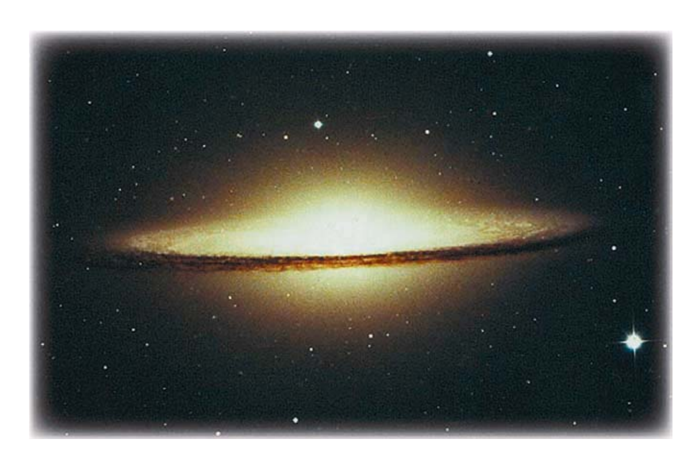


Галактика Циркуль имеет активное ядро

## Как выглядит ядро галактики?

На первых рисунках и фотографиях галактик их ядра предстали перед учеными как своеобразные центры симметрии, полюсы вихрей, образованных спиральными рукавами. К середине XX в., используя инфракрасные и радиотелескопы, астрономы убедились, что ядра нашей и других галактик — это огромные скопления звезд, и в середине такого скопления часто находится маленький, но удивительно мощный источник энергии, иногда сравнимый по мощности излучения со всей остальной галактикой!

Ядро галактики, если оно проявляет себя как сильный источник энергии, называют активным. Практически каждая крупная галактика в той или иной степени демонстрирует активность в центре своего ядра, причем природа происходящих там процессов до сих пор не вполне ясна. Точного определения понятия «ядро галактики» пока не существует. Астроном может называть ядром ту область в центре изучаемой галактики, которая выглядит чересчур яркой, активной или еще как-то обособленной от остальных частей галактики. Обычно размер ядра при этом оказывается в пределах от нескольких десятков до нескольких сот световых лет, но иногда (при изучении особенно далеких галактик) ядром называют область размером 2—3 тыс. св. лет, а в других случаях (при изучении близких галактик) — область размером всего лишь в один световой год.



Ядро галактики Сомбреро (М 104) в созвездии Дева светится очень ярко

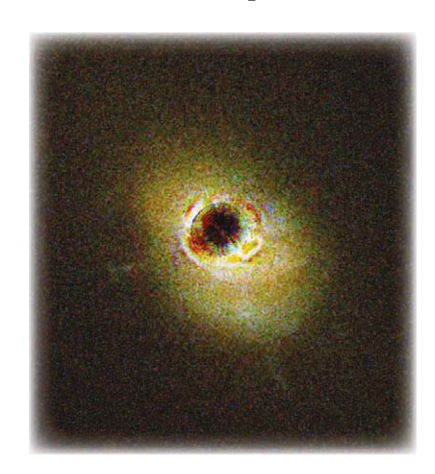
## Квазары

Переходя от наиболее спокойных (нормальных) ко все более активным ядрам галактик, мы достигаем самых выдающихся объектов — квазаров. В них активность ядра подавляет все прочие проявления галактики. Среди всех источников энергии во Вселенной квазары — самые мощные. Астрономы знают, что все далекие галактики разбегаются друг от друга, причем разбегаются тем быстрее, чем больше расстояние между ними. Огромные скорости удаления квазаров указывают, что расстояния до них очень велики — сотни миллионов и даже миллиарды световых лет! На таких расстояниях они заметны лишь потому, что обладают гигантской мощностью излучения.

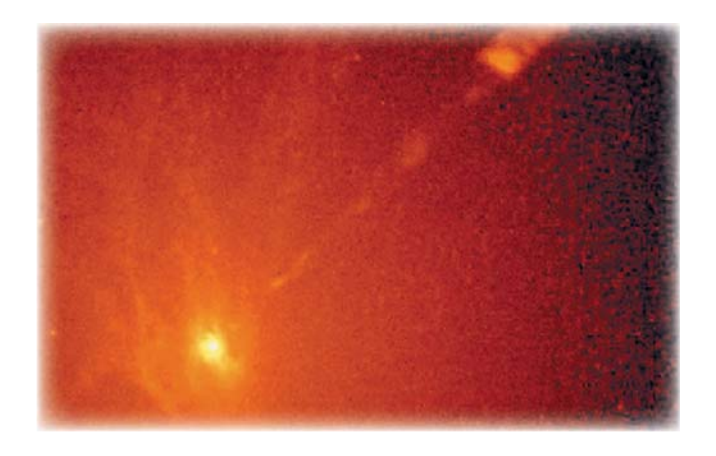
## Причина активности ядер

Каков механизм активности ядер галактик? Самая распространенная гипотеза состоит в том, что энергия выделяется при падении вещества на массивную черную дыру в центре галактики. Вообразите: черная дыра размером с орбиту Земли ежегодно разрывает своим гравитационным полем и заглатывает до сотни таких звезд, как наше Солнце. При этом вокруг самой черной дыры с огромной скоростью вращается раскаленный газовый диск. С его нагретой до фантастических температур поверхности срываются потоки плазмы и, зажатые в тиски магнитных полей, уносятся вдоль оси вращения диска далеко за пределы галактики! Разумеется, никто из астрономов не мог видеть эту картину. Пока это лишь теоретическая модель.

Еще одна гипотеза о природе активности ядер галактик: к повышенному выделению энергии могут приводить столкновения звезд в самой плотной части ядра. К сожалению, астрономы никогда еще не наблюдали процесс столкновения двух звезд и пока могут лишь моделировать его с помощью компьютера. В зависимости от скорости столкновения звезды могут либо полностью разрушаться, демонстрируя при этом яркую вспышку, либо слипаться, рождая более массивную звезду.



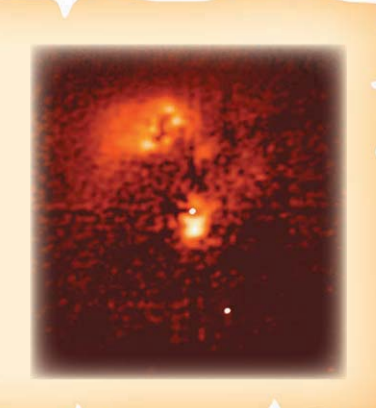
Большинство квазаров находятся в центрах огромных эллиптических галактик



Из ядра галактики М 87 вырывается струя плазмы в несколько тысяч световых лет

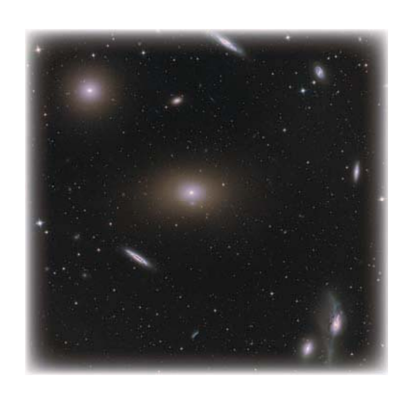
Некоторые ученые связывают природу активности ядер галактик с выделением энергии массивными звездами при мощной вспышке звездообразования в ядре. Звезды рождаются из газа, скопившегося в центре галактики, и через короткое время вспыхивают как сверхновые, передавая энергию окружающей среде. Выброшенный при взрыве газ сжимает окружающее межзвездное вещество и стимулирует формирование в нем новых звезд. Происходит своего рода цепная реакция звездообразования.

**Один из самых близких к нам квазаров — источник 3С 273. Расстояние до него составляет более 2 млрд. св. лет, с этого гигантского расстояния он выглядит как звездочка 13-й звездной величины. У наиболее активных квазаров мощность излучения достигает $10^{39}$ Вт. Это означает, что за 1 с они выделяют такую же энергию, какую Солнце излучает примерно за 100 тыс. лет! К настоящему времени обнаружено около 5 тыс. квазаров. Они интенсивно излучают не только свет, но и рентгеновское, инфракрасное и радиоизлучение.**



# Метагалактика

*Планеты обращаются вокруг звезд, большинство звезд входят в состав звездных систем, которые в свою очередь являются частью Галактики. Как далеко простирается эта иерархия? Какие из наблюдаемых систем самые крупные? Чтобы ответить на эти вопросы, астрономы должны не только исследовать расположение разных объектов на небе, но и вычислить расстояния до них. Благодаря науке за прошедший XX в. границы астрономической Вселенной раздвинулись почти в миллиард раз!*



Скопление галактик в созвездии Дева

## Галактика — единица Вселенной

Изучение мира галактик связано с изобретением и совершенствованием телескопа. Как оказалось, за пределами нашего «звездного острова» — галактики Млечный Путь — космическая иерархия не завершается. Но первая ступень в сложной системе Вселенной — это уровень нашей Галактики. На этом этапе структура мира — это структура распределения звезд в пространстве. В спиральных галактиках звезды могут образовывать рукава, которые, наподобие волн в водовороте, стягиваются к центру галактики. Для эллиптических (шарообразных) галактик звезды тоже образуют структуры, но здесь они проще: чем ближе к центру такой галактики, тем гуще там расположены звезды, и наоборот. Размеры данной ступеньки — характерные размеры галактик: тысячи и десятки тысяч световых лет.



Очень далекая от нас спиральная галактика NGC 4603 в созвездии Центавр

## Скопления галактик

Следующая ступенька выводит нас на уровень скоплений галактик. Так, наша Галактика вместе с другой гигантской галактикой — знаменитой Туманностью Андромеды, — входит в скопление, называемое Местной группой галактик. По своей форме Местная группа напоминает толстый «блин»: его диаметр около 5 млн. св. лет, а толщина — около 2 млн. св. лет. В этом объеме помимо нашей Галактики и Туманности Андромеды заключено еще несколько галактик общим числом в несколько десятков. Крупные группы галактики в поперечнике более 10 млн. св. лет часто называют облаками галактик. Известны облака в созвездиях Гончие Псы, Большая Медведица, Лев, Журавль и др.

Группы и облака галактик — довольно разреженные образования. Более населенные и концентрированные группы галактик называют скоплениями галактик. Количество галактик в скоплении может достигать тысяч и десятков тысяч. На расстоянии 40 млн. св. лет от нас в направлении созвездия Дева расположено крупное скопление галактик, которое обычно так и называют — Скопление Девы. Одних лишь крупных галактик в этом скоплении — несколько сот, а количество карликовых галактик здесь превышает количество крупных в несколько раз. Поперечник Скопления Девы составляет 8 млн. св. лет. Одно из са-

**В 1936 г. Эдвин Хаббл в обсерватории Маунт-Вилсон (США) подсчитал количество галактик яркостью до 21-й звездной величины в нескольких небольших площадках, равномерно распределенных по небу. По этим данным он вычислил, что на всем небе более 20 млн. галактик ярче 21-й звездной величины, а ведь современный крупный телескоп без особого труда фиксирует галактики 25-й звездной величины. Космический телескоп «Хаббл» потенциально может исследовать на всем небе более миллиарда далеких галактик!**



Расстояние до ближайших галактик, их групп и скоплений *(в млн. св. лет)*

| | |
|---|---|
| Большое Магелланово Облако | 0,15 |
| Малое Магелланово Облако | 0,18 |
| Группа Андромеды (М 31) | 2,2 |
| Группа Большой Медведицы (М 81) | 12 |
| Скопление в Деве | 40–50 |
| Скопление в Печи | 65 |
| Скопление в Гидре | 130 |
| Скопление в Центавре | 140 |
| Скопление в Волосах Вероники | 300 |

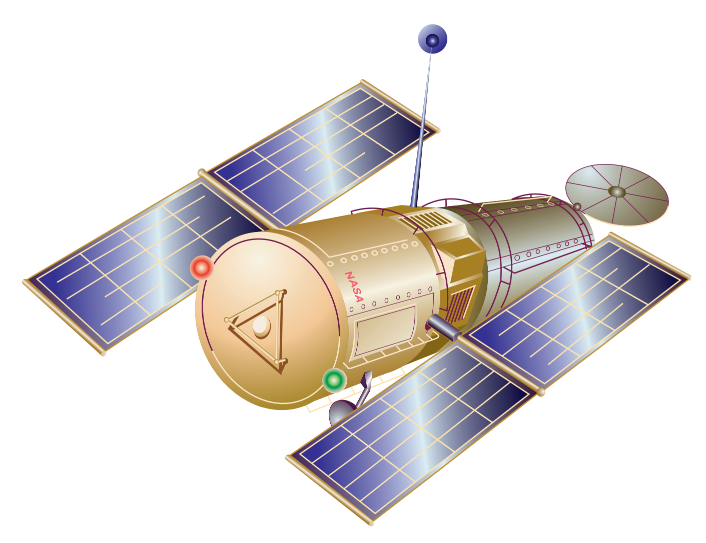
мых больших скоплений галактик располагается в созвездии Волосы Вероники. Его отделяет от нас расстояние в 200 млн. св. лет. В этом скоплении насчитывается около 10 тыс. галактик, а диаметр скопления составляет около 15 млн. св. лет.

## Сверхскопления

Скопления галактик — далеко не последняя ступень воображаемой космической лестницы. Поднимаясь еще на один уровень, мы попадаем в мир сверхскоплений галактик. Например, уже упоминавшееся скопление в Деве служит центром огромной сверхсистемы, образованной многими тысячами одиночных галактик, их групп и скоплений. Диаметр этого Местного сверхскопления — около 100 млн. св. лет, а толщина — около 35 млн. св. лет. Наша Местная группа галактик располагается почти на краю Местного сверхскопления.

## Сверхгалактика

И наконец, последняя из известных на сегодня ступеней выводит нас на самую вершину. Однако это уже не скопления сверхскоплений, а в целом однородная структура, разбитая на ячейки, похожие на пчелиные соты или мыльную пену. Сверхскопления — это наиболее плотные протяженные структуры таких ячеек. Стенки каждой ячейки образованы скоплениями и группами галактик, а внутри ячеек почти пусто — крупные галактики там практически отсутствуют. Диаметры таких ячеек — около 200—400 млн. св. лет. Такова известная на сегодня структура наблюдаемой нами части Вселенной. Ее иногда называют Метагалактикой, т. е. в дословном переводе с греческого — Сверхгалактикой.




Космический телескоп «Хаббл» сделал изображения более 20 тыс. небесных объектов

# Расширение Вселенной

*В XX в. астрономы обнаружили самый грандиозный процесс, существующий в природе, — расширение Вселенной. Это открытие настолько меняло сложившиеся представления о мире, что потребовались десятилетия для того, чтобы оно стало общепризнанным. Действительно, нелегко свыкнуться с мыслью, что Вселенная не всегда была такой, какой мы ее застали. Миллиарды лет назад ей предшествовало иное, более плотное состояние, галактики находились значительно ближе друг к другу.*



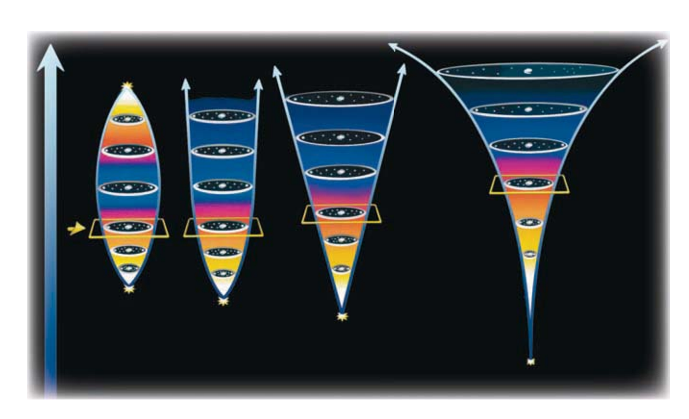
Радиотелескоп фиксирует реликтовое излучение

## Как это происходит?

К выводу о том, что Вселенная расширяется, ученые пришли в 1930-х гг. Этот вывод был сделан на основе анализа скоростей далеких галактик. Как оказалось, в среднем, чем дальше от нас галактика, тем выше ее скорость. Причем скорость галактики направлена прочь от нас по лучу зрения. Впервые на это обратил внимание американский астроном Весто Слайфер (1875—1969). А в 1929 г. астроном Эдвин Хаббл надежно установил факт расширения Вселенной. Он вывел формулу: $V = D \times H_0$, где V — скорость «убегания» галактики, D — расстояние до нее, а $H_0$ — постоянная Хаббла (60—80 км/с на 1 мегапарсек).

Расширение Вселенной проявляется так, как будто наблюдатель находится в «центре мира» и от него во все стороны разбегаются галактики — чем они дальше, тем выше скорость их «убегания». Но на самом деле мы вовсе не находимся в «центре мира» — такого центра попросту нет. Представьте себе, что вы надуваете воздушный шарик. Микроскопическому существу, обитающему в какой-либо точке на его поверхности, будет казаться, что он — в центре вселенной-шарика, а все остальные точки удаляются от него. Причем, чем дальше «объект наблюдения», тем выше скорость, с которой он «улетает». Эта аналогия приводит к еще одной теории, составляющей фундамент космологии, — теории Большого взрыва. Ведь если Вселенная расширяется, значит, когда-то давным-давно существовало состояние, из которого она начала расширяться?

**Любопытно, что если бы нам удалось мгновенно перенестись на «окраины Вселенной», скорее всего, мы не увидели бы никакой экзотики — лишь обычные галактики, такие же, как и там, откуда мы прибыли. Зато если бы мы теперь обернулись и посмотрели в телескоп в сторону Млечного Пути, то увидели бы нашу Галактику такой, какой она была миллиарды лет назад! И, вполне возможно, в окружении ярких квазаров, которые еще не успели «прогореть» дотла, превратившись в обычные галактики.**



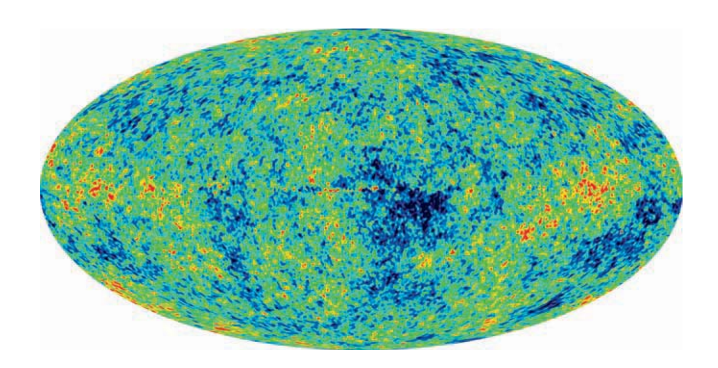
Разные модели расширения Вселенной (в первой расширение сменяется сжатием)

## На первом этапе

По современным представлениям, дата рождения Вселенной отстоит от нас примерно на 14 млрд. лет. В те далекие времена не существовало ни звезд, ни галактик, ни даже вещества в обычном его понимании. Вся Вселенная была сжата в точку невообразимо малых размеров. Из этой точки Вселенная начала расширяться, причем на первых стадиях этот процесс расширения иначе как взрывом назвать нельзя (отсюда и название теории Большого взрыва).

Самое интересное, что от тех далеких времен взрывоподобного расширения сохранились вполне зримые следы — реликтовое излучение, которое можно зарегистрировать с помощью радиотелескопа. Оно было обнаружено в 1965 г. Это излучение представляет собой потоки фотонов, летящих по всем направлениям в почти пустом межгалактическом и межзвездном пространстве. Как показывают расчеты, реликтовое излучение образовалось спустя несколько сот тысяч лет с момента Большого взрыва.

В те времена вещество во Вселенной представляло собой горячую плазму, состоящую из фотонов, электронов и барионов (протонов, нейтронов). По мере расширения Вселенной плазма остывала, и в один прекрасный момент скорость (а значит, и энергия) электронов уменьшилась настолько, что они стали соединяться с протонами, образуя атомы водорода. Весть об этом «дне рождения атомов» и несут с собой фотоны реликтового излучения. В момент рождения атомов Вселенная стала «прозрачной» для электромагнитного излучения. В эту эпоху температура во Вселенной составляла около 3—4 тыс. градусов. Однако температура наблюдаемого сейчас реликтового излучения лишь около 3 градусов — за время, прошедшее с эпохи образования атомов оно успело остыть.



Карта реликтового излучения, получена спутниками COBE (США) и «Реликт-1» (Россия)



Самые далекие из известных галактик — в сотнях миллионов световых лет от Земли

## Эффект космических расстояний

Согласно закону Хаббла, чем дальше от нас галактика, тем с большей скоростью она от нас удаляется. А значит, ее излучение смещается в сторону более длинных волн. Проще говоря, чем дальше от нас галактика, тем более «красной» выглядит ее излучение. Этот эффект называется космологическим красным смещением. Благодаря этому эффекту астрономам удалось обнаружить галактики, удаленные от нас на расстояния более 10 млрд. св. лет! А это, в свою очередь, означает, что мы видим галактики такими, какими они были более 10 млрд. лет назад, спустя «каких-то» несколько миллиардов лет со дня рождения Вселенной. Многие из этих далеких галактик непохожи на современные. Среди них особенно много квазаров — сверхярких активных галактик, которые называют маяками Вселенной, а спиральные галактики практически отсутствуют.

Собственные имена некоторых звезд

| Название звезды | Перевод | Обозначение по классификации |
|---|---|---|
| Акраб (араб.) | Скорпион | α Скорпиона |
| Акрукс (лат.) | Крестовина | α Южного Креста |
| Акубенс (араб.) | Клешня | α Рака |
| Аламак (араб.) | Сандалия | γ Андромеды |
| Алгениб (араб.) | Крыло | γ Пегаса |
| Алголь (араб.) | Дьявольская | β Персея |
| Алиот (араб.) | Черный конь | ε Большой Медведицы |
| Альбирео (араб.) | Птица | β Лебедя |
| Альдебаран (араб.) | Следующая (за Плеядами) | α Тельца |
| Альнитак (араб.) | Перевязь | ξ Ориона |
| Альтаир (араб.) | Летящий орел | α Орла |
| Беллятрикс (лат.) | Воительница | γ Ориона |
| Бетельгейзе (араб.) | Плечо великана | α Ориона |
| Вега (араб.) | Падающий орел | α Лиры |
| Гемма (лат.) | Драгоценность | α Северной Короны |
| Денеб (араб.) | Хвост | α Лебедя |
| Капелла (лат.) | Козочка | α Возничего |
| Кохаб (араб.) | Звезда Севера | β Малой Медведицы |
| Маркаб (араб.) | Седло | α Пегаса |
| Менкар (араб.) | Рот кита | α Кита |
| Мерак (араб.) | Брюхо | β Большой Медведицы |
| Мимоза (греч.) | Меняющая свое обличие | β Южного Креста |
| Минтака (араб.) | Пояс | δ Ориона |
| Мира (лат.) | Удивительная | θ Кита |
| Мицар (араб.) | Середина | ξ Большой Медведицы |
| Нат (араб.) | Рог | β Тельца |
| Процион (греч.) | Раньше Пса | α Малого Пса |
| Рас Альхаге (араб.) | Голова заклинателя | α Змееносца |
| Рас Альгети (араб.) | Голова коленопреклоненного | α Геркулеса |
| Регул (лат.) | Царек, князь | α Льва |
| Ригель (араб.) | Нога | β Ориона |
| Рукба (араб.) | Колено | δ Кассиопеи |
| Садалмелек (араб.) | Счастье царства | α Водолея |
| Саиф (араб.) | Меч | κ Ориона |
| Сириус (греч.) | Сияющий | α Большого Пса |
| Спика (лат.) | Колос | α Девы |
| Толиман (араб.) | Страусы | α Кентавра |
| Тубан (араб.) | Дракон | α Дракона |
| Фекда (араб.) | Бедро | γ Большой Медведицы |
| Фомальгаут (араб.) | Рот рыбы | α Южной Рыбы |
| Шедир (араб.) | Грудь | α Кассиопеи |

# Именной указатель

**А**ль-Бируни 12
Аргеландер Ф. 43
Аристарх Самосский 10—11
Аристотель 10
Армстронг Н. 30

**Б**айер И. 43, 146—147
Браге Т. 14—15, 58, 146
Бредихин Ф. А. 118
Бройль Л. де 19
Бруно Дж. 82
Бунзен Р. 17

**В**оронцов-Вельяминов Б. А. 181

**Г**агарин Ю. А. 30
Галилей Г. 6, 14—15, 17, 107
Галлей Э. 116, 163—164, 170
Гевелий Я. 43
Герцшпрунг Э. 139
Гершель В. 16—17, 109, 150, 164
Гершель Дж. 164
Гиппарх 11, 26, 49, 61
Гофмейстер К. 147
Гумбольдт А. 120
Гюйгенс Х. 107

**Е**вдокс Книдский 42
Ефремов Ю. Н. 149

**З**ельдович Я. Б. 154

**И**ль А. 163

**К**ант И. 126
Кассини Ж. Д. 107
Квелоц Д. 144
Кеплер И. 14—15, 116
Кирхгоф Г. 17
Коперник Н. 14

**Л**акайль Н. 43
Лаплас П. С. 16, 126, 152
Леверье У. 17
Лексель А. И. 16
Леонов А. А. 30

**М**айор М. 144
Мессье Ш. 162, 164
Мешен П. 164

**Н**ьютон И. 16, 18, 23, 45

**О**льберс Г. В. 122

**П**иацци Дж. 122
Птолемей Клавдий 11, 40, 42
Пурбах Г. 13

**Р**ассел Г. Н. 139
Региомонтан 13

**С**акробоско И. 13
Секи А. 138
Скиапарелли Дж. 121
Слайфер В. 190
Солпитер Е. 154

**Т**омбо К. 112

**У**лугбек 13

**Ф**абрициус Д. 146
Фридман А. А. 19

**Х**аббл Э. 19, 178, 181, 189—191
Хейл Д. 88
Холл А. 103

**Ц**ераский В. К. 118

**Ш**варцшильд К. 152
Шепли Х. 177
Шмидт Б. 23
Шмидт О. Ю. 126

**Э**ддингтон А. С. 18
Эйнштейн А. 18
Эратосфен 10, 51

# Предметный указатель

**А**беррация 23
Азимут светила 59
Аккреционный диск 155
Аккреция 154—155
Аризонский кратер 97
Ариэль 109
Астероиды 80, 113—114, 122—124
Астрограф 17
Астролябия 12
Астрономическая единица 84, 133
Астрономия 6
Астрофизика 7, 16, 41
Атмосфера 86, 97—99
Афелий 92

**Б**алдж 174
Бар 178
Барицентр 65
Белый карлик 57, 83, 136, 150—151, 154, 156, 161
Биосфера 96, 98
Болид 124
Большое Коричневое Пятно 107
Большое Красное Пятно 105, 111
Большое Темное Пятно 111
Большой взрыв 19, 153, 190—191

**В**енера 29, 32, 66—67, 75, 80—81, 93—95, 135
Вертикал светила 58—59
Веста 122
Вселенная 6—7, 10, 19, 184—185, 188, 190—191
Вселенной расширение 190—191
Высота светила 59

**Г**алактики *(отдельные)*
ESO325-G004 178
M33 176—177
M32 176—177, 180—181, 183
M66 184
M81 180, 189
M82 180—181
M87 153, 187
M101 182
M110 183
NGC147 177
NGC185 177
NGC205 177
NGC1365 178
NGC2997 172
NGC4449 183
NGC4526 156
NGC4603 188
VV34 181
Большое Магелланово Облако 151, 167, 171, 175, 176—177, 189
Веретено 179
Лебедь А 28
Малое Магелланово Облако 167, 171, 175, 177, 189
Секстант А 176
Сомбреро (M 104) 185—186
Туманность Андромеды (M 31) 52, 149, 176—177, 180—181, 183, 188—189
Центавр А (NGC 5128) 29
Циркуль 186
Галактики взаимодействующие 180—181
Галактики карликовые 182—183
Галактики линзовидные 178—179
Галактики неправильные 178—179
Галактики пекулярные 182
Галактики спиральные 178—179
Галактики эллиптические 178—179
Галактическая корона 175
Гало 40, 174—175
Ганимед 75, 105
Гелиосфера 90, 175
Гелиоцентрическая система мира 10, 14
Геокорона 98
Геология 96
Геоцентрическая система мира 10—11, 14
Герцшпрунга — Рассела диаграмма 139, 142, 158—159
Гидра 112
Гидросфера 96

Глобулы 160
Гномон 8, 41
Год звездный 62
Год тропический 73
Голубой гигант 131
Гравитационная линза 185

**Д**еймос 103
Деференты 11
Джеты 155, 161
Дилюция 84
Долгота галактическая 61
Долгота светила 61
Доплера эффект 145

**Е**вропа 35, 75, 105

**Ж**елтый карлик 131

**З**атмения 9, 68—69, 87
Звездная величина 11, 26, 134—135
Звездные ассоциации 163
Звездные скопления *(отдельные)*
 M2 57
 M11 158
 M13 37, 49
 M15 53, 175
 M22 163
 M55 159
 M67 158
 NGC2362 158
 Гиады 55, 158, 162
 Омега (ω) Центавра 162—163
 Плеяды 55, 162—163
 Ясли 162
Звездный ветер 167
Звезды *(отдельные)*
 Агена 135
 Акрукс 135, 192
 Акубенс 55
 Аламак 52, 140, 192
 Алгениб 53, 192
 Алголь 53, 192
 Альбирео 50, 143, 192
 Альдебаран 12, 46, 55, 130, 135—138
 Алькор 140—141
 Альнилам 46
 Альнитак 46, 192
 Альрами 57
 Альтаир 12, 26, 50—52, 135, 192
 Альфа (α) Центавра 132—133, 135
 Альферац (Сиррах) 52
 Альштайн 51
 Антарес 26, 56, 135—138
 Арктур 48, 135, 137—138
 Ахернар 45, 135
 Бетельгейзе 12, 26, 43, 46, 135—138, 192
 Вега 12, 26, 44—45, 50—52, 135, 137—138, 192
 Гамаль 54
 Гемма 49, 192
 Гиеди (Альгеди) 57
 Дельта (δ) Рака 55
 Денеб 26, 45, 50, 52, 135, 192
 Денебола 48
 Канопус 45, 134—135, 138
 Капелла 45—47, 135, 137—138, 192
 Кастор 43, 55, 142
 Кохаб 44, 192
 Лебедь X-1 153
 Лямбда (λ) Ориона 137
 Маркаб 53
 Менкар 53, 192
 Минтака 46, 138, 192
 Мира (Омикрон (θ) Кита) 53, 130, 137, 146, 149, 192
 Мирах 52
 Мирфак 53
 Мицар 140—141
 Поллукс 43, 46, 55, 135—137
 Полярная 44, 136—137
 Проксима Центавра 132—133
 Процион 46—47, 135, 137—138, 192
 Рас Альгети 49, 192
 Регул 55, 130, 135, 192
 Реда 51

Ригель 12, 43, 46, 130, 135—137, 160, 192
Сириус 26, 46—47, 135, 137—138, 150, 192
Спика 48, 56, 135, 137—138, 192
Тау (τ) Кита 53
Тубан 44, 192
Фомальгаут 135
Шеат 53
Эниф 53
Эпсилон (ε) Лиры 51
Звезды взрывающиеся 147, 156
Звезды вспыхивающие 147
Звезды двойные 131, 140—143
Звезды кратные 141, 143
Звезды невосходящие 45
Звезды незаходящие 44—45
Звезды переменные 133, 146—147, 149
Звезды странные 130, 150
Земля 10—12, 45, 63—65, 80—81, 83, 90—91, 96—99, 101, 127, 152, 158
Зенит 58—59
Зодиак 9, 44, 54, 62

**И**нтерферометр 145
Ио 35, 75, 105
Ионосфера 90, 99

**К**алендарь 6, 8—9, 72—73
Каллисто 75, 105
Карликовые планеты 112—113
Квадрант 12, 15
Квазар 28, 186—187, 191
Кометы 74, 80, 114, 116—119, 121
Конвекция 84
Конфигурация 67
Космические аппараты *(отдельные)*
COBE 191
NEAR 123
SOHO 85
«Аполлон» 30, 101
«Венера» 32, 95
«Восток» 30
«Восход» 30
«Вояджер» 33, 104, 106, 109, 111
«Галилей» 7, 104
«Гиппарх» 132
«Зонд» 101
«Кассини» 104
«Колумбия» 31
«Луна» 32, 101
Луноходы 33, 101
«Маринер» 32, 93, 103
«Марс» 103
Марсоходы 33
Международная космическая станция 30—31
«Мир» 31
«Новые горизонты» 113
«Пионер» 33, 37, 104, 106
«Реликт-1» 191
«Салют» 31
«Скайлаб» 31
«Союз» 31
«Спектр-Рентген-Гамма» 27
«Хаббл» 112, 189
«Чандра» 24
«Челленджер» 31
Коричневый карлик 143, 184
Коронограф 145
Космогония 81, 126
Космологическое красное смещение 191
Красный гигант 83, 161
Красный карлик 131
Кульминация 44, 59, 62

**Л**еониды 114, 121
Лириды 121
Луна 10—11, 14, 30, 32, 34, 40, 42, 64—65, 68—69, 74, 75, 96, 100—101, 135

**М**агнитосфера 99, 108
Марс 15, 32, 34, 56, 66, 75, 80—81, 102—103
Мезосфера 99
Меридиан небесный 58—59, 62
Меркурий 29, 66—67, 75, 80—81, 92—93

Местная группа галактик 176, 188—189
Местное время 70—71
Метагалактика 188—189
Метеориты 114—115, 124—125
Метеорный поток 117, 120—121
Метеорология 96
Метеоры 75, 114, 120—121
Миранда 109
Млечный Путь (Галактика) 7, 17, 37, 44, 48, 50, 61, 138, 148, 153, 157—158, 160, 162—177, 181, 185, 188, 190

**Н**адир 58—59
Небесная сфера 58
Нейтрино 85, 185
Нейтронные звезды 130, 136, 145, 150—151, 154—155, 157
Нептун 7, 17, 33, 66, 80—81, 110—111, 113
Нереида 111
Никта 112
Новые звезды 146, 156

**О**берон 109
Облако Оорта 118
Обсерватория 24
Океанология 96
Орбитальный период 140

**П**аллада 122
Параллакс 133
Парсек 133
Перигелий 92
Персеиды 75, 121
Плутон 17, 66, 112—113
Пояс Койпера 113, 123
Прецессия 12, 43, 45
Противостояние 67, 102
Протозвезды 166
Протуберанцы 89
Прямое восхождение 60
Пульсары (*см.* Нейтронные звезды)

**Р**адиант 120
Радиоизлучение 28—29
Регмаглипты 124
Реголит 101
Реликтовое излучение 190—191
Рефлектор 23—24
Рефрактор 23

**С**атурн 33, 66, 75, 80—81, 106—107
Сверхновые звезды 137, 146, 151, 156—157, 161, 166—167
Сверхскопления 189
Светимость 135
Световой год 133
Сейсмология 96
Секстант 6, 12
Сидерический (звездный) месяц 65
Синодический (лунный) месяц 64—65
Склонение светила 60
Скопления галактик 188
Скопления рассеянные 163
Скопления шаровые 163
Скрытая масса 184
Соединение 67
Созвездия (*отдельные*)
  Андромеда 52, 177
  Близнецы 9, 43, 54—55
  Большая Медведица 6, 42, 45, 48—49, 140, 180, 182
  Большой Пес 47, 180
  Весы 9, 54, 56
  Водолей 54, 57
  Возничий 47, 171
  Волопас 48
  Волосы Вероники 48, 162, 189
  Ворон 42, 48, 160
  Геркулес 42, 48—50
  Гидра 42, 48, 189
  Дева 42, 48, 54, 56, 188—189
  Дельфин 50
  Дракон 45, 179
  Единорог 47, 158
  Жираф 45, 156, 171

Змееносец 48, 50—51
Змея 48, 50—51, 165
Золотая Рыба 45, 166
Кассиопея 44—45, 156, 177
Киль 45, 162
Кит 52—53, 147
Козерог 52, 54, 57
Корма 42
Лебедь 42, 50, 153, 157, 171
Лев 9, 48, 54—55, 184
Лира 50—51
Лисичка 50
Малая Медведица 44—45
Малый Конь 42
Малый Пес 47
Муха 167
Овен 52, 54
Орел 50—51
Орион 43, 46—47
Павлин 184
Пегас 52—53, 175, 180
Персей 45, 52—53, 171
Печь 189
Рак 9, 48, 54—55
Рыбы 52, 54, 177
Рысь 45
Северная Корона 42, 48—49
Секстант 48
Скорпион 8—9, 54, 56
Столовая Гора 171
Стрела 42, 50
Стрелец 50, 54, 56—57, 163—164, 171
Телец 54—55, 163
Треугольник 176—177
Тукан 43, 159, 171
Центавр 42, 171, 189
Цефей 45, 148
Чаша 42, 48
Южная Корона 49, 56
Южный Крест 42, 44—45, 171
Ящерица 45
Солнечная активность 88
Солнечная корона 68, 86—87, 89
Солнечная система 80—81, 113—115, 122—123, 126—127
Солнечные вспышки 89
Солнечные пятна 74, 84, 86, 88
Солнечный ветер 83, 86—87, 90, 175
Солнце 10—11, 18, 26, 29, 41, 54, 62—63, 66, 68—69, 74, 80—90, 114, 127, 130, 132, 135, 137—138, 143, 152, 158—159, 172
Спектральный анализ 27
Спектральный класс 136, 138—139
Спектроскоп 16, 138
Спикулы 87
Стонхендж 9
Стратосфера 99
Сутки звездные 70
Сутки солнечные 70

**Т**ектонические процессы 97
Телескоп 6—7, 15—17, 22—25, 28—29, 36, 41, 76—77, 82, 154, 171, 190
Титан 33, 35, 107, 111
Титания 109
Тритон 111
Тропосфера 99
Туманности *(отдельные)*
NGC2440 150
NGC3132 141
Андромеды (М 31) 52
Большая туманность Ориона 141, 165
Ведьмина Голова 143
Кольцо (М 57) 50—51
Конская Голова 46
Крабовидная 55, 155, 166
Лагуна 57
Орел 165
Песочные Часы 167
Розетка 159
Тарантул 166
Трилистник 164
Тюльпан 153

Улитка 57
Фата 157
Эскимос 55
Тунгусский метеорит 115, 125

**У**гол зрения 22
Умбриэль 109
Уран 17, 66, 80—81, 108—109

**Ф**обос 103
Фотосфера солнечная 84, 86, 88
Фотоэлектрические приемники излучения 25

**Ч**асовой угол 60
Часовые пояса 71

**Х**арон 112
Хемисфера 99
Хромосфера солнечная 86—87

**Ц**ерера 113, 122
Цефеиды 133, 147—149

**Ч**ерные дыры 130, 150, 152—153, 155, 157, 187

**Ш**ирота галактическая 61
Широта светила 61

**Э**кватор галактический 61
Экватор небесный 59—62
Экзопланеты 144—145
Эклиптика 9, 12, 41, 54, 60—63
Элонгация 67
Эпициклы 11
Эрида 113

**Ю**нона 122
Юпитер 7, 33, 35, 66, 75, 80—81, 104—105, 119



Для среднего школьного возраста

**БОЛЬШАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ АСТРОНОМИИ**

Авторы: *О. В. Александрова, С. В. Аюков, А. В. Засов, Э. В. Кононович, К. В. Куимов, В. М. Липунов, Т. А. Лозинская, К. А. Порцевский, К. А. Постнов, Ж. Ф. Родионова, Н. Н. Самусь, В. Г. Сурдин, В. И. Цветков, С. А. Цуканов*

Составитель *Л. А. Феоктистов*

Иллюстрации: *Н. А. Васильев, Н. В. Данильченко, М. О. Дмитриев, Н. С. Краснова, И. В. Максимова, А. Н. Орлов, А. Н. Позиненко, А. Г. Проскуряков, А. Н. Савельев, А. М. Саморезов, А. В. Свербута, И. Н. Ситников, Т. Е. Ситникова, А. Н. Сичкарь, Н. В. Сучкова, В. Г. Челак*

Дизайн обложки *В. И. Митянина*
Дизайн макета *О. В. Иванов*
Ответственный редактор *Е. В. Волкова*
Художественный редактор *О. В. Куликова*
Технический редактор *А. Т. Добрынина*
Корректор *Л. А. Лазарева*

*В книге использованы звездные карты, изготовленные на основе программы «Карта неба», разработанной И. В. Чилингаряном*

*Издание подготовлено компьютерным центром издательства «РОСМЭН».*

Подписано к печати 23.10.2008. Формат 60×90 $^1/_8$.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура PetersburgC.
Усл. печ. л. 25,0. Тираж 5000 экз.
Заказ №

ЗАО «РОСМЭН-ПРЕСС».
Почтовый адрес: 125124, Москва, а/я 62.
Тел.: (495) 933-71-30.
Юридический адрес: 129301, Москва,
ул. Бориса Галушкина, д. 23, стр. 1.

*Наши клиенты и оптовые покупатели могут оформить заказ, получить опережающую информацию о планах выхода изданий и перспективных проектах в Интернете по адресу:* ***www.rosman.ru***

ОТДЕЛ ОПТОВЫХ ПРОДАЖ:
все города России, СНГ: (495) 933-70-73;
Москва и Московская область: (495) 933-70-75.

Б 79 **Большая энциклопедия астрономии** / Сост. Л. А. Феоктистов. — М.: ЗАО «РОСМЭН-ПРЕСС», 2009. — 200 с.

В книге рассказывается о науке астрономии и ее достижениях с древнейших времен до наших дней. Даны важнейшие сведения о Солнечной системе, звездах, галактиках и других объектах Вселенной. Показаны современные методы космических наблюдений и исследований. Доступным языком объясняется смысл сложных явлений и терминов. Красочные иллюстрации сделают чтение более увлекательным, указатель поможет быстро найти нужную информацию.

Книга предназначена для школьников, их родителей и всех интересующихся астрономией.

ISBN 978-5-353-03857-3

УДК 087.5
ББК 22.6

# БОЛЬШАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ АСТРОНОМИИ

рассказывает о науке астрономии, ее зарождении и развитии. Доступно и увлекательно даются важнейшие сведения о Солнечной системе, звездах, галактиках и других объектах Вселенной. Показаны современные методы космических исследований.

Каждая тема содержит:

- Научные термины, примеры, пояснения
- Имена известных ученых и их открытия
- Интересные факты и цифры
- Рисунки, фотографии, схемы


ISBN 978-5-353-03857-3